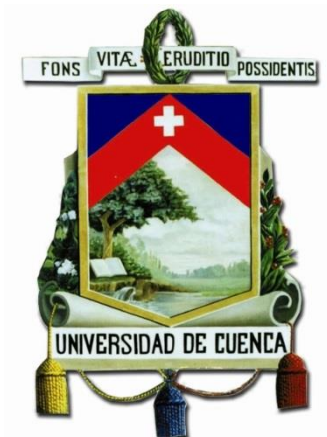




UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE PRECIPITACIONES E INTENSIDADES: OBTENCIÓN DE HISTOGRAMAS DE DISEÑO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PAUTE.

Tesis previa a la obtención del
grado de Ingeniera Civil.

AUTOR:

MARÍA GABRIELA URGILÉS CALLE

DIRECTOR:

ING. CRISTIAN IVAN COELLO GRANDA.

CUENCA – ECUADOR

OCTUBRE 2015



Resumen

La variabilidad espacio-temporal de la precipitación, es una de las principales herramientas de diseño en múltiples ramas de estudio en la ingeniería, como son: hidrología, climatología, agricultura, riego, dotación de agua, inundaciones, obras estructurales, y más. Las obras hidráulicas necesitan tener precisión en su diseño para no sobredimensionarlas ni subdimensionarlas. El objetivo de la presente investigación es analizar la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones y sus intensidades, obteniendo los histogramas de diseño para los tiempos de concentración de las subcuencas de interés, a partir de información instantánea de estaciones ubicadas en la cuenca alta del río Paute. Para esto, se analizan once estaciones pluviométricas ubicadas en las cuatro subcuencas de estudio (Machángara, Tarqui, Tomebamba y Yanuncay). La información ha sido obtenida de: INAMHI, PROMAS Universidad de Cuenca y ETAPA EP. Esto, se logrará a través del procesamiento de la información a diferentes escalas temporales, generando las curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF) y como resultado principal mapas de Isoyetas y los histogramas de diseño para diferentes periodos de retorno de cada una de las subcuencas. Obteniendo que la subcuenca del río Machángara, presenta el mayor valor de precipitación. Las precipitaciones en la cuenca alta del río Paute son muy intensas y de corta duración, debido a que 60min del evento representan hasta el 80% del evento total de precipitación. Sirviendo estos resultados para actualizar la información existente, y como base para estudios hidrológicos e hidráulicos de los principales ríos de la ciudad de Cuenca.

Palabras Clave: Variabilidad espacio-temporal, Curvas IDF, Isoyetas, Histogramas de diseño, cuenca alta del río Paute.



Abstract

Spatial and Temporal rainfall variability are one of the main design tools in several areas of study in engineering, such as: hydrology, climatology, agriculture, irrigation, water supply, flood, structures, and more. Hydraulic works need to be accurate in its design to avoid oversizing or undersizing. The aim of this investigation is to analyze the spatial and temporal rainfall variability and its intensity, getting design histograms for the concentration times of the subbasins of study, from instant information of stations located in the high basin of the river Paute. Eleven pluviometric stations located in the four subbasins of study (Machángara, Tarqui, Tomebamba and Yanuncay) are analyzed. The information has been provided by: INAMHI, PROMAS (Water and Soil Management Program) University of Cuenca and ETAPA EP. After processing the information on different times scales, generating relationships intensity, duration, frequency (IDF), and resulting Isohyets maps, and the design histograms for different return periods for each subbasin will be obtain. The subbasin of the river Machángara present the highest value of precipitation. The precipitations of the high basin of the river Paute are very strong and of short duration, due to 60min represent 80% of total event of precipitation. These results are important to update the existing information, and can be used as a base for hydrologic and hydraulic studies of the main rivers from Cuenca city.

Keywords: Spatial- Temporal variability, relationships IDF, Isohyets, design histograms, high basin of the river Paute.



Índice

| | |
|--|----|
| Resumen | 2 |
| Abstract | 3 |
| Índice | 4 |
| Cláusula de derechos de autor | 6 |
| Cláusula de propiedad intelectual | 7 |
| Agradecimientos | 8 |
| 1 Introducción | 9 |
| 1.1 Antecedentes | 9 |
| 1.2 Justificación | 13 |
| 1.3 Objetivos | 14 |
| 1.3.1 Objetivo General | 14 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 14 |
| 2 Materiales | 15 |
| 2.1 Área de Estudio | 15 |
| 2.2 Información Hidrometeorológica | 17 |
| 2.2.1 Estaciones monitoreadas por PROMAS Universidad de Cuenca | 17 |
| 2.2.2 Estaciones monitoreadas por ETAPA EP | 17 |
| 2.2.3 Estación monitoreada por INAMHI | 18 |
| 2.3 Información Cartográfica | 19 |
| 3 Métodos | 20 |
| 3.1 Procesamiento y validación de la información | 20 |
| 3.1.1 Bondad de Ajuste | 20 |
| 3.2 Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF) | 21 |
| 3.2.1 Distribución de Probabilidades | 21 |
| 3.3 Variabilidad Espacial | 22 |
| 3.3.1 Método de las Isoyetas | 23 |
| 3.4 Tiempo de Concentración de las subcuencas | 23 |
| 3.4.1 Ecuaciones empíricas para estimar el tiempo de concentración | 24 |
| 3.5 Hietograma Unitario | 24 |
| 3.5.1 Método de bloques alternos | 25 |



| | | |
|-------|---|----|
| 4 | Resultados y Discusión..... | 26 |
| 4.1 | Precipitaciones..... | 26 |
| 4.1.1 | Curvas IDF..... | 28 |
| 4.2 | Precipitación Máxima | 31 |
| 4.3 | Mapa de Isoyetas..... | 32 |
| 4.4 | Histogramas de Diseño | 38 |
| 4.5 | Análisis de los resultados..... | 46 |
| 5 | Conclusiones | 50 |
| 6 | Recomendaciones | 52 |
| 7 | Referencias..... | 53 |
| 8 | Anexos..... | 56 |
| 8.1 | Anexo 1. Distribución del estadístico de Kolmogorov Smirnov (Dt)..... | 56 |
| 8.2 | Anexo 2. Tablas de precipitaciones máximas en mm a diferente escala temporal..... | 57 |
| 8.3 | Anexo 3. Resultados del Test de Bondad de Ajuste Kolmogorov Smirnov..... | 62 |
| 8.4 | Anexo 4. Hietogramas de diseño por subcuenca, para diferentes periodos de retorno..... | 63 |
| 8.4.1 | Subcuenca del río Machángara..... | 63 |
| 8.4.2 | Subcuenca del río Tarqui..... | 65 |
| 8.4.3 | Subcuenca del río Tomebamba..... | 67 |
| 8.4.4 | Subcuenca del río Yanuncay | 68 |
| 8.5 | Anexo 5. Histogramas Unitarios | 70 |
| 8.5.1 | Subcuenca del río Tarqui..... | 70 |
| 8.5.2 | Subcuenca del río Tomebamba..... | 71 |
| 8.5.3 | Subcuenca del río Yanuncay | 73 |



Cláusula de derechos de autor

Yo, María Gabriela Urgilés Calle, autora de la tesis "ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE PRECIPITACIONES E INTENSIDADES: OBTENCIÓN DE HISTOGRAMAS DE DISEÑO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PAUTE", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este, requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor/a.

Cuenca, Octubre del 2015

María Gabriela Urgilés Calle

C.I: 0302700067



Cláusula de propiedad intelectual

Yo, María Gabriela Urgilés Calle, autora de la tesis "ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE PRECIPITACIONES E INTENSIDADES: OBTENCIÓN DE HISTOGRAMAS DE DISEÑO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PAUTE", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, Octubre del 2015

María Gabriela Urgilés Calle

C.I: 0302700067



Agradecimientos

A mis padres y mi hermana por todo el apoyo a lo largo de mi carrera. Al Ing. Cristian Coello por su aporte constante de conocimiento para el desarrollo de este trabajo, al PROMAS Universidad de Cuenca y a ETAPA EP, por su ayuda en la obtención de la información para el desarrollo de la presente investigación.



1 Introducción

1.1 Antecedentes

La Precipitación constituye el agua meteórica que cae sobre la superficie de la Tierra, en sus diferentes formas (sólida y líquida). La precipitación es la base de todos los tipos de escorrentía (superficial, subterránea) (Segerer & Villodas, 2006), además, cabe destacar que la precipitación, es una magnitud fundamental en el balance hídrico (García-Marín et al., 2014). Años atrás se suponía que la distribución espacial de la lluvia era uniforme en áreas pequeñas (Patrick y Stephenson., 1990) citado en (Barbancho, 1998); pero los últimos estudios han demostrado que este supuesto no se cumple, y que la variabilidad espacial de la lluvia debe ser considerada también en el balance hídrico (Goodrich et al., 1995) citado en (Barbancho, 1998).

Uno de los principales problemas en la precipitación, es la cuantificación y la medición de esta (Segerer & Villodas, 2006), debido a la falta de información y un registro continuo de los datos de la misma.

La variabilidad espacial y temporal de una zona, depende de su ubicación, tal es así, que la precipitación es mayor cerca del Ecuador (Segerer & Villodas, 2006). La variabilidad espacial y temporal de la precipitación influencia en la hidrología, agricultura, clima de la región (Segerer & Villodas, 2006), procesos de manejo de cuencas hidrográficas, análisis de producción de cuencas, modelación hidrológica, diseño y manejo de riego entre otras (Torres, Céleri, Cisneros, & Feyen, 2007). A través de la precipitación espacial y temporal se puede obtener una representación de la hidrología superficial y la escorrentía, generando datos de precipitación en zonas donde no existen mediciones (Torres et al., 2007).

En el caso de la variabilidad espacial o variabilidad sobre un área, se presenta a la precipitación como un factor de entrada sujeto a incertidumbres provocadas por los errores, en las mediciones y los errores en la interpolación (Wouter Buytaert, Céleri, Willems, Bièvre, & Wyseure, 2006c), también por ser considerado un proceso estocástico (García-Marín et al., 2014).

En las regiones montañosas el patrón de precipitación está influenciado por la topografía de la zona, altitud, pendiente y vientos. La manera de mejorar la calidad de los datos es aumentando la densidad de la red de monitoreo (Buytaert, et al., 2006c).

Para el caso de la cuenca del río Paute, existía una red de monitoreo de pocas estaciones pero; debido al mega deslizamiento ocurrido en la Josefina en 1993,



y que provocó la inundación de un área de 1000 hectáreas, (Basabe, Almeida, Ramón, Zeas, & Alvarez, 1996), produciendo pérdidas humanas y económicas para todo el Ecuador se incrementó el número de estaciones. Por esta razón se desarrolló una "Red de monitoreo y alerta a crecidas e inundaciones" (Basabe et al., 1996) en la cuenca del Paute.

Debido a que la cuenca del río Paute, tiene una red considerablemente densa de estaciones pluviométricas y, por su importancia económica, a través, de la Central Hidroeléctrica de Paute, porque ella genera electricidad para todo el país, de esta, también se obtiene agua para la ciudad de Cuenca (Céleri, Willems, Buytaert, & Feyen, 2007).

Las características fisiográficas que presenta la cuenca, así como las condiciones climáticas han producido zonas ecológicas en ella, siendo el más importante el ecosistema Páramo (Céleri et al., 2007).

El páramo es un ecosistema de Humedales alpino neotropical, que se encuentra cubriendo la región andina superior (P Crespo, Celleri, Buytaert, & Feyen, 2010), con unos límites de 3500m y 5000m de altitud (Wouter Buytaert, Iñiguez, et al., 2006d), considerado como la principal fuente de agua de comunidades (W Buytaert, Céleri, De Bièvre, & Cisneros, 2006a), debido a que existe muy poca actividad humana y genera un alto y sostenido flujo base para los ríos que descienden de estos (Wouter Buytaert, Céleri, De Bièvre, et al., 2006b).

En el páramo la precipitación varía de "700mm hasta los 3000mm" (Luteyn., 1992) citado en (Buytaert et al., 2006a). La lluvia es extremadamente variable en espacio y tiempo (Buytaert., 2004) citado en (Buytaert et al., 2006a).

Debido a que en la cuenca del río Paute, se desarrollan proyectos hidroeléctricos importantes, se debe tener la distribución espacial de la lluvia, y la precipitación media, teniendo en cuenta que estas estimaciones no deben tener errores significativos para las actividades en las que se van a emplear, evitando así, pérdidas económicas para el país (Torres et al., 2007).

La variabilidad espacial en la cuenca del río Paute, se sabe que es heterogénea, teniéndose los valores más bajos en el centro de la cuenca y los más altos cerca de la salida de la misma (Céleri et al., 2007).

La variabilidad espacial en la cuenca del río Paute depende de dos regímenes de lluvias: un Unimodal (UM) y un Bimodal (BM). Las estaciones ubicadas en la cuenca alta del río Paute, presentan un régimen Bimodal debido a que el clima está influenciado al Oeste por el régimen de la costa del Pacífico, y al Este por la masa de aire tropical del Atlántico (Vuille, Bradley, & Keimig, 2000).



La precipitación en el Páramo se caracteriza, por eventos cortos y frecuentes de bajo volumen, la distribución temporal en la cuenca del río Paute presenta dos temporadas secas, de Agosto a Octubre y una más fuerte que es de Diciembre a Febrero. La temporada de lluvias principal es de Mayo a Julio. Obteniendo así los patrones estacionales Unimodal y Bimodal (Buytaert et al., 2006c). En (Patricio Crespo et al., 2014) se estudiaron siete microcuencas ubicadas en la cuenca del río Paute, teniendo que la distribución media anual de la precipitación es uniforme, los valores de la lluvia media anual variaron entre 900 mm y 1600mm para 1964 al 2009. Además que la precipitación se mantiene frecuente durante todo el año presentando intensidades bajas.

La cuenca del río Paute debido a sus características de Páramo es un reservorio de agua, el cual, se verá afectado por los cambios en el uso del suelo y la quema incontrolada de su cobertura, por esta razón, en periodos lluviosos existirían inundaciones y deslizamientos de tierra que afectarían la economía y desarrollo estructural del Ecuador (Céleri et al., 2007).

Los cambios de uso del suelo en el páramo provocarían inundaciones y deslizamientos de tierra (Céleri et al., 2007), ya que el 60% de las especies en el páramo son endémicas, es decir, se han adaptado a las condiciones climáticas de la zona (Wouter Buytaert, Iñiguez, & Bièvre, 2007). Uno de los principales cambios en uso del suelo es la forestación con pinos, esta altera la composición química y microbiana del suelo y genera menor contenido de agua en el suelo (Wouter Buytaert et al., 2007). Por esta razón, se debe tener especial cuidado al reforestar esta especie de bosque en un ecosistema tan frágil como es el páramo.

El páramo se considera un ecosistema frágil, debido a que este se adapta a condiciones extremas como la topografía, una altura al nivel del mar sobre los 3000m, la radicación solar, que es intensa durante todo el día y las temperaturas muy bajas en la noche, además de la presencia de corrientes de aire frías que influyen en el almacenamiento de agua (Ruiz et al., 2008, Navarrete.,2003) citado en (Reyes, 2014).

El suelo del páramo es de origen volcánico en su mayoría, su clasificación es : Andosoles, Regosoles, Umbrisoles e Histosoles (FAO/ ISRIC/ ISSS ., 1998) citado en (Buytaert et al., 2006b). Especialmente en los Andosoles existe una gran capacidad de retención de agua (Rousseaux and Warkentin., 1976) citado en (Buytaert et al., 2006b).

Los Andosoles son propensos a cambios irreversibles porque tiene una estructura abierta facilitando la entrada de raíces y del aire (Wouter Buytaert, Wyseure, De Bièvre, & Deckers, 2005), al modificar el uso del suelo se produce un efecto de secado, cambiando las propiedades de retención del agua en el



suelo y la respuesta hidrológica de la cuenca (Buytaert ., 2002) citado en (P Crespo et al., 2010).

Por lo que, las actividades humanas que afectan solo la vegetación generan impactos que pueden ser reversibles pero si estas actividades afectan el suelo provocan un impacto que es irreversible en los páramos (De Bievre, 2009).

El desarrollo de esta investigación se centrará, en la cuenca alta del Paute, utilizando once estaciones pluviométricas monitoreadas por el PROMAS Universidad de Cuenca, ETAPA EP y un pluviómetro histórico del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que brindaran información instantánea de los eventos de precipitación registrados durante siete a dieciséis años. Procesando la información a una escala temporal, y obteniendo las curvas características (Hietograma, Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)) (Segeber & Villodas, 2006).

Las curvas IDF son curvas que se forman al unir los puntos representativos de la intensidad media, en intervalos de diferente duración y que pertenecen a un mismo periodo de retorno (Témez., 1978) citado en (Tapia, Martínez, & Villanelo, 2001). Estas permiten generalizar sus resultados a través del análisis de las Isoyetas (Segeber & Villodas, 2006), obtenidas utilizando un método de interpolación, el mismo que se encuentra expuesto a incertidumbres (Buytaert et al., 2006c). Se analizó en las curvas IDF los eventos extremos ocurridos en la serie de datos, obteniendo finalmente los Histogramas unitarios para diferentes periodos de retorno en cada una de las subcuencas de estudio.

Los datos presentados en estudios anteriores, enfatizan en la necesidad de una red de monitoreo más densa, puesto que los resultados de variabilidad espacial y temporal se han basado en un número pequeño de estaciones pluviométricas, además, de los errores que pueden presentarse en las mediciones, por esta razón presentan una gran incertidumbre (Buytaert et al., 2006c).



1.2 Justificación

La importancia del análisis espacio-temporal, es su aplicación en múltiples ramas de estudio ingenieril, como son la hidrología, climatología, agricultura, riego, dotación de agua, inundaciones, obras estructurales, y más.

En la actualidad, existen un mayor número de estaciones pluviométricas en todo el país que permiten obtener información real, acerca de las precipitaciones instantáneas. La misma que al ser procesada permite obtener un acercamiento más preciso del comportamiento espacial y temporal de la precipitación en regiones monitoreadas.

Por años, se han empleado datos de precipitaciones máximas en 24 horas, como el Informe de Intensidades Máximas (INAMHI, 1999). Este documento se emplea para los diseños y dimensionamientos de obras hidráulicas en Instituciones Públicas y Privadas.

Además la presencia del cambio climático global, provocará un gran cambio en los recursos hídricos, modificando los patrones de precipitación y la frecuencia de los eventos extremos, así como la intensidad de la precipitación (Bates et al., 2008) citado en (W. Buytaert et al., 2010)

Las obras hidráulicas necesitan tener precisión en su diseño para no sobredimensionarlas ni subdimensionarlas. Debido a que nuestro país está apostando por la energía limpia, proveniente de represas y proyectos multipropósito, es necesario, actualizar la información. Obteniendo nuevos histogramas de diseño a partir de las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) y mapas de variación espacial de intensidades aplicado a cada región de investigación.

Los mismos que, se generarán con la información instantánea obtenida de los pluviógrafos. Para luego mejorar la calidad de la información que se dispone actualmente. Contribuyendo al conocimiento del comportamiento espacio-temporal de las precipitaciones en la cuenca alta del río Paute, que es una región que abastece del recurso vital para la ciudad de Cuenca, además de aportar a un correcto dimensionamiento y diseño de obras hidráulicas; así como al control de inundaciones.



1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones y sus intensidades, obteniendo los histogramas de diseño para los tiempos de concentración de las subcuencas de estudio a partir de información instantánea de estaciones ubicadas en la cuenca alta del Río Paute.

1.3.2 Objetivos Específicos

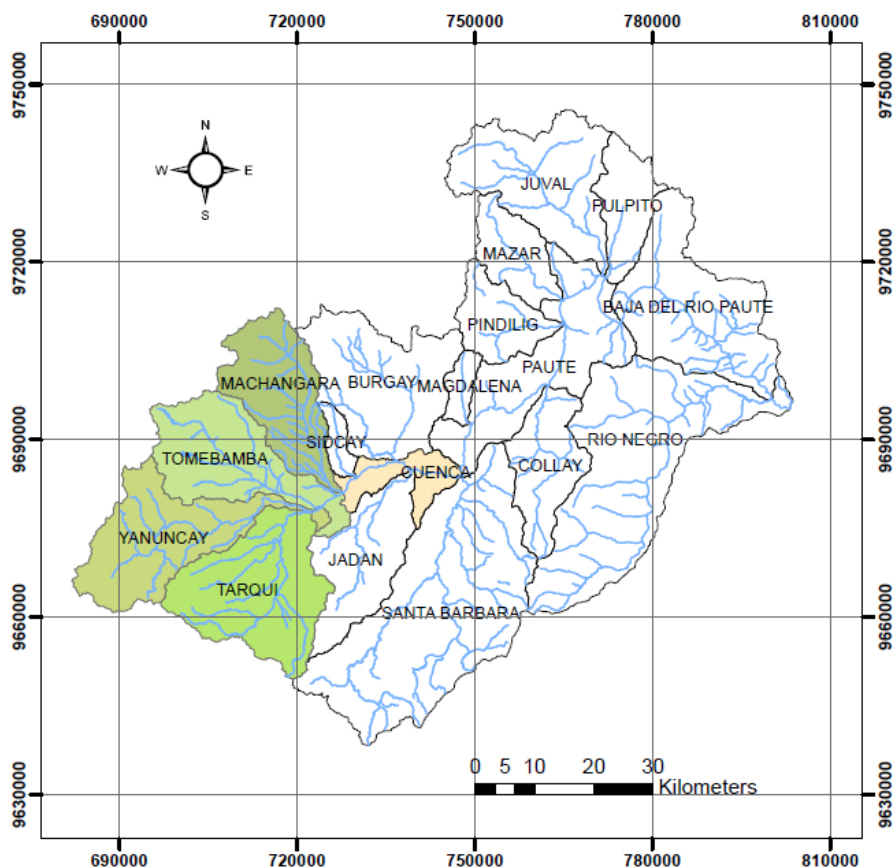
- Recopilar y validar la información instantánea obtenida de las estaciones pluviométricas.
- Determinar las intensidades máximas a partir de la generación de curvas intensidad, duración y frecuencia para las subcuencas.
- Analizar la variabilidad espacial de la precipitación en las subcuencas a partir de las Isoyetas.
- Determinar los histogramas de diseño para los tiempos de concentración de las subcuencas.

2 Materiales

2.1 Área de Estudio

La cuenca del río Paute está ubicada al Sur de los Andes Ecuatorianos, en la unión de las provincias de Azuay y Cañar. Su superficie es de 5069 km², presenta un relieve muy irregular con cotas que van desde 1600 ms.n.m hasta 4600 ms.n.m Debido a su proximidad con la línea ecuatorial no hay glaciares ni nevados (Céleri et al., 2007). En la Figura 2.1 se presenta la cuenca del río Paute, que está formada por 18 subcuencas, con áreas que varían entre 50 a 950 km². Las áreas de la figura que presentan colores son las correspondientes a las subcuencas de estudio de la presente investigación. Estas pertenecen a los ríos: Machángara, Tomebamba, Yanuncay y Tarqui, los mismos que atraviesan la ciudad de Cuenca.

Figura 2.1. La cuenca del río Paute.



El clima de la cuenca del Paute se ve influenciado al Oeste por el régimen de la costa del Pacífico, y al este por la masa de aire tropical del Atlántico (Vuille et al., 2000). La temperatura es uno de los parámetro fundamentales que afectan

el clima puesto que el descenso normal de la temperatura con respecto al incremento de altitud es de 6.5 °C/1000m (Dercon, Bossuyt, De Bièvre, Cisneros, & Deckers, 1998).

El ecosistema de Páramo es predominante para altitudes mayores a los 3200ms.n.m, además de una transición de subpáramo y matorrales desde 3000ms.n.m hasta los 3200ms.n.m (Dercon et al., 1998). Esta zona mayor a los 3000ms.n.m es un área remota y desolada que solo tiene vegetación nativa, por lo que posee una alta calidad del agua. Al año se extraen 50 millones de m³ de agua, la cual es el suministro vital para la ciudad de Cuenca (Buytaert et al., 2006c).

Debido a que la cuenca es un modelo irregular de cordilleras que se interceptan por valles, se produce una topografía muy irregular produciendo variabilidad espacial y temporal de las lluvias. Para esta investigación se han utilizado estaciones pluviométricas ubicadas en cuatro subcuencas mencionadas anteriormente de la cuenca alta del río Paute.

Las subcuencas consideradas en la presente investigación, cruzan la ciudad de Cuenca, y de ahí su gran importancia; los sitios de cierre de las subcuencas fue considerando un punto específico a su llegada a la ciudad, de tal manera que proporcionen resultados adecuados para análisis hidrológicos e hidráulicos a futuro, en la Tabla 2.1 se presentan las principales características físicas de las subcuencas.

Tabla 2.1. Propiedades Físicas de las subcuencas de estudio.

| Subcuenca | Área (Km ²) | Perímetro (Km) | Altura (ms.n.m) | Suelos | Cobertura Vegetal | Pendiente % |
|-------------------|-------------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------|-------------|
| Machángara | 325.5 | 103.1 | 2440-4420 | Andosol, Regosol. | Páramo, Matorral, Cultivos. | 15 - 35 |
| Tarqui | 476.3 | 112.4 | 2560-3940 | Andosol, Regosol. | Páramo, Matorral, Cultivos, Pastos. | 5 - 25 |
| Tomebamba | 380.4 | 125.0 | 2600-4420 | Andosol | Páramo, Matorral, Cultivos, Pastos. | 25 - 70 |
| Yanuncay | 418.9 | 150.1 | 2580-4340 | Andosol, Regosol. | Páramo, Praderas, Pastos, Cultivos. | 12 - 50 |



Los suelos de las subcuencas se caracterizan principalmente por presentar Andosoles y Regosoles. Los Andosoles son suelos desarrollados sobre material volcánico, su textura es franco y tiene una capacidad alta para retención de agua. Los Regosoles son suelos determinados principalmente por la topografía, pues aparecen en zonas con fuerte erosión causada por las altas pendientes, y son ricos en arcillas expansivas (Dercon et al., 1998).

La cobertura vegetal que presentan las subcuencas son: páramo (estipa uchi y gramíneas perennes), matorral, cultivos de papa, maíz y fréjol, pastos y praderas (Dercon et al., 1998).

2.2 Información Hidrometeorológica

Se ha utilizado información instantánea de precipitaciones, obtenida de once estaciones pluviométricas ubicadas en las cuatro subcuencas de estudio (Machángara, Tarqui, Tomebamba y Yanuncay). La información ha sido obtenida de tres fuentes: INAMHI, PROMAS Universidad de Cuenca y ETAPA EP.

2.2.1 Estaciones monitoreadas por PROMAS Universidad de Cuenca.

La Universidad de Cuenca con su Programa para el Manejo del Agua y del Suelo (PROMAS), dispone de una extensa red de monitoreo en la cuenca del río Paute desde el año 2000. Trabaja en investigación en las zonas de páramo, la cuenca alta de los ríos Machángara, Tomebamba, se mantienen en constante monitoreo. La resolución de los pluviómetros utilizados es de 0.2mm. En la Tabla 2.2.1 se tienen las características principales de las estaciones utilizadas en esta investigación.

Tabla 2.2.1. Detalle de las estaciones monitoreadas por PROMAS U de Cuenca.

| Estación | Código | Subcuenca | Utmx (m) | Utmy (m) | Altura (ms.n.m) | Años de registro |
|-------------------|--------|------------|----------|----------|-----------------|------------------|
| Huagrahuma | Hu | Machángara | 719716 | 9706079 | 3590 | 2001 - 2015 |
| Marianza | Ma | Tomebamba | 709221 | 9684392 | 3622 | 2004 - 2015 |

Datum: Psad_1956_UTM_Zone_17S

2.2.2 Estaciones monitoreadas por ETAPA EP.

ETAPA EP es una empresa pública que trabaja en el cantón Cuenca. A fines de la década de los 90s se crea la Red Hidrometeorológica Unificada de la cuenca del río Paute (RHUP), que consta de 12 estaciones pluviográficas

(Torres et al., 2007). Esta red monitorea todos los eventos y fenómenos que pudiesen afectar a la cuenca del río Paute. La resolución de los pluviómetros es de 0.5mm. En la Tabla 2.2.2 se presentan las características de las estaciones utilizadas para las subcuencas de estudio.

Tabla 2.2.2. Detalle de las estaciones monitoreadas por ETAPA EP.

| Estación | Código | Subcuenca | Utmx (m) | UtmY (m) | Altura (ms.n.m) | Años de registro |
|---------------------|--------|------------|----------|----------|-----------------|------------------|
| Chanlud | Ch | Machángara | 719033 | 9703989 | 3514 | 2002 - 2009 |
| Labrado | La | Machángara | 714444 | 9698474 | 3440 | 2001 - 2009 |
| Matadero en Sayausí | Ms | Tomebamba | 715000 | 9682000 | 2715 | 1997 - 2013 |
| Portete | Po | Tarqui | 713000 | 9655000 | 3080 | 1997 - 2013 |
| Tarqui en Cumbe | Tc | Tarqui | 716700 | 9664200 | 2622 | 1997 - 2013 |
| Ucubamba | Uc | Cuenca | 728500 | 9682150 | 2430 | 1998 - 2013 |
| Yanuncay en Cancán | Yc | Yanuncay | 689750 | 9676250 | 3680 | 1997 - 2013 |
| Yanuncay en Pucán | Yp | Yanuncay | 703500 | 9674500 | 3044 | 1997 - 2013 |

Datum: Psad_1956_UTM_Zone_17S

2.2.3 Estación monitoreada por INAMHI

El INAMHI es una institución pública la cual surgió de la necesidad y la obligación de dar información sobre el clima, tiempo y recursos hídricos del Ecuador. En los años sesenta había algunas redes de estaciones meteorológicas, pero en 1961 se crea el Servicio Nacional de Meteorología.

Actualmente el INAMHI cuenta con una red de 383 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el Ecuador.

La información de la que se dispone es solamente de datos diarios.

En la tabla 2.2.3 se presenta las características de la estación utilizada en esta investigación.

Tabla 2.2.3. Detalle de las estaciones monitoreadas por INAMHI.

| Estación | Código | Subcuenca | Utmx (m) | UtmY (m) | Altura (ms.n.m) | Años de registro |
|----------|--------|-----------|----------|----------|-----------------|------------------|
| Cumbe | Cu | Tarqui | 721017 | 9659047 | 2715 | 1963 - 1991 |

Datum: Psad_1956_UTM_Zone_17S



2.3 Información Cartográfica

La cartografía base fue obtenida a partir del SIG tierras. También se obtuvo información del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE). Estas brindan cartografía de libre acceso. La cartografía se encuentra en el sistema Psad_1956_UTM_Zone_17S. Se obtuvieron archivos shape de topografía, ríos, subcuencas, uso del suelo en la cuenca del río Paute.

La información obtenida se encuentra en escala 1:25000, las capas disponibles son de usos de suelo, curvas de nivel, ríos, cantones, subcuencas y centros poblados de la cuenca del río Paute.



3 Métodos

3.1 Procesamiento y validación de la información.

La información obtenida de los pluviógrafos es instantánea, por lo que se debía realizar un procesamiento previo y verificación de los datos. Primero se realizó una revisión en el ordenamiento cronológico de las fechas y horas registradas de la precipitación. Se detectó errores en la digitación los cuales fueron corregidos y depurados.

En algunas de las estaciones pluviográficas los registros de precipitación presentaban registros faltantes, que pueden ser por errores en las mediciones, fallas en los equipos, o por la falta de mantenimiento de los mismos, esto provocaría errores al estimar un evento futuro. Debido que los datos faltantes eran datos diarios no se consideró necesario realizar el relleno de información puesto que los mismos se encontraban de manera esporádica dentro de los meses de Julio a Diciembre, asumiendo que los valores de precipitación máxima, no estarían dentro de esos datos faltantes. Para la estación de Cumbe del INAMHI se tuvo como información cruda datos diarios, por esta razón esta estación se utilizó solamente para la generación de Isoyetas. Debido a que el número de datos con los que se trabajó era muy elevado se necesitó de mayor tiempo y esfuerzo.

Los registros se colocaron en un solo formato de fechas para cada estación y se procedió a la conversión y ordenamiento en escalas de tiempo que fueron: 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 120, 240, 360, 720, 1440 minutos.

Este procesamiento de la información cruda se realizó con la ayuda de una hoja de cálculo utilizando macros y filtros.

Se obtuvieron tablas de alturas máximas de precipitación para cada año y cada duración. Con estas tablas aplicando una función de probabilidad se obtuvieron las Curvas IDF.

3.1.1 Bondad de Ajuste

Se procedió inicialmente a realizar una prueba de bondad de ajuste de los datos, para comprobar si el conjunto de datos se apega a una distribución de probabilidad. Las pruebas de bondad de ajuste son Chi-cuadrado y Kolmogorov Smirnov (Canavos & Medal, 1987), aplicando esta última en la presente investigación.

La prueba de Kolmogorov Smirnov tiene cierta ventaja sobre la de Chi-cuadrado, puesto que se puede utilizar para cualquier tamaño de muestra (Lilliefors, 1967). La prueba está basada en un estadístico que mide la desviación de la frecuencia observada acumulada con relación a la frecuencia teórica acumulada (Tapia et al., 2001).

Luego se obtiene el Supremo de la diferencia entre las dos frecuencias en la enésima posición de orden (D).

$$D = \text{Sup}|Fn(x) - F(x)| \quad (1)$$

Con un valor de 95% de confianza, si el valor de D es mayor al valor D_t en las tablas estadísticas de Kolmogorov Smirnov (Anexo 1), el ajuste no es adecuado.

3.2 Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF).

Las curvas IDF son una relación matemática que existe entre la intensidad, la duración y la frecuencia o periodo de retorno (Koutsoyiannis et al., 1998) citado en (Nhat, Tachikawa, & Takara, 2006). La intensidad es la altura de precipitación por unidad de tiempo que llegaría a ser la duración del evento, la frecuencia se expresa en función del periodo de retorno (Tr), que es “el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño” (Chow et al., 1994) citado en (Tapia et al., 2001).

3.2.1 Distribución de Probabilidades

Las series de precipitaciones máximas no se ajustan a distribuciones normales, por lo que se utilizan distribuciones extremas como son: la logarítmica normal, gamma, Pearson, y la función Gumbel (Mintegui y López., 1990) citado en (Tapia et al., 2001).

Debido a que la función Gumbel es la que mejor representa “lluvias anuales extremas”, así como “la variación de una serie anual de máxima intensidad de precipitación”, esta función es la más adecuada para representar valores máximos de intensidad (Verna., 1988; Stol.,1971) citado en (Tapia et al., 2001); (Koutsoyiannis, Kozonis, & Manetas, 1998).

Para utilizar una función de distribución teórica (Gumbel) se debe calcular las intensidades máximas de precipitación para cada año y cada duración (5, 10,



15,.....,2440 minutos). Se asigna a cada duración de lluvia un periodo de retorno para ajustar estos valores a la función.

Distribución de probabilidad Gumbel.-

La función de distribución de probabilidad se define como (Tapia et al., 2001):

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\sigma(x-u)}} \quad (2)$$

Con $-\infty \leq x \leq \infty$

Donde

X es el valor a asumir por la variable aleatoria.

σ, u son parámetros que se hallan en función de la muestra.

$$u = \bar{x} - 0.450047 * S \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{1}{0.779696 * S} \quad (4)$$

Donde

S es la desviación estándar de la muestra.

\bar{x} es la media de la muestra.

3.3 Variabilidad Espacial.

La variabilidad espacial de la precipitación media anual en la cuenca del río Paute es muy heterogénea, teniendo valores de 660 mm en la parte central y valores de 3400mm en la salida de la cuenca. Las estaciones ubicadas en zonas en altitudes mayores a los 3000m presentaron valores de precipitación entre 1000mm – 1400mm (Céleri et al., 2007). No se puede encontrar una relación entre la altura y la precipitación de toda la cuenca, pero se realizó un análisis con la información de las estaciones ubicadas en la parte central y al oeste de la cuenca obteniendo una relación lineal entre la precipitación anual y la elevación (Céleri et al., 2007).

La altitud de 4000ms.n.m actúa como una barrera para las tormentas por eso los eventos de precipitación no superan esta altitud (Buytaert et al., 2006c).

Existen varios métodos para realizar el análisis de variabilidad espacial como son: media aritmética, polígonos de Thiessen y el método de las Isoyetas (Barbancho, 1998).

3.3.1 Método de las Isoyetas

El método de las Isoyetas es el más recomendado para zonas con fuertes variaciones en los registros de precipitación por la topografía, obteniendo finalmente una cartografía que muestra las variaciones en la precipitación (Shaw., 1988) citado en (Barbancho, 1998), siendo este método el seleccionado para el análisis espacial de las precipitaciones.

3.3.1.1 *Método de Interpolación: Kriging*

Para obtener el mapa de Isoyetas se utilizó el método de interpolación Kriging en el Sistema de Información Geográfica (GIS).

Kriging es un método de estadísticas geográficas que se basa en una función continua, explicando el comportamiento de una variable en diferentes direcciones de un espacio geográfico (Gallardo., 2006) citado en (Puga et al., 2014).

El método Kriging consiste en estimar un valor desconocido de la variable como una combinación lineal de n valores conocidos, obteniendo un sistema de ecuaciones que presenta una sola solución (Mejía et al., 1999).

La ventaja teórica de utilizar Kriging sobre otros métodos de interpolación es la posibilidad de modelar la dependencia espacial de los datos, brindando mejores resultados que los métodos que solo son espaciales (Lloyd., 2005) citado en (Izquierdo, Márquez, & others, 2007)

3.4 **Tiempo de Concentración de las subcuencas**

El tiempo de concentración (t_c) de una cuenca es el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca, el agua que viene desde el punto más alejado de la cuenca (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2010), o también se dice que es el tiempo en el cual toda la cuenca aporta con un flujo hasta el sitio de salida o desagüe de la cuenca (Upegui & Gutiérrez, 2011).

El t_c es diferente para cada subcuenca y depende de las características de la misma, como la geomorfología de la subcuenca y las características de la lluvia. Se utiliza principalmente para determinar la capacidad hidráulica de las estructuras (Upegui & Gutiérrez, 2011).



En el diseño hidrológico supone que el tiempo que dura la lluvia máxima coincide con el tiempo de concentración de la cuenca (Upegui & Gutiérrez, 2011).

El t_c se halla a partir de ecuaciones empíricas, que aunque son muchas se citarán solamente las que se consideran usualmente empleadas en esta zona de estudio.

3.4.1 Ecuaciones empíricas para estimar el tiempo de concentración.

Las ecuaciones que se utilizarán para hallar el t_c en las subcuencas son:

- Ecuación de California Culvert Practice.
- Ecuación de Giandotti
- Ecuación de Kirpich

California Culvert Practice

$$t_c = 60 * \left[\frac{0.78075 * L^3}{H} \right]^{0.385} \quad (5)$$

Giandotti

$$t_c = \frac{(4 * \sqrt{A}) + (1.5 * L)}{25.3 * \sqrt{S} * L} * 60 \quad (6)$$

Kirpich

$$t_c = 0.0078 * L_p^{0.77} * S^{-0.385} \quad (7)$$

Dónde:

- t_c es el tiempo de concentración (min).
- L es la longitud del cauce (Km).
- H es la diferencia de cotas del punto más alto y el punto de salida de la cuenca (m).
- A es el área de la cuenca (Km²).
- S es la pendiente promedio del cauce principal (m/m).
- L_p es la longitud del cauce (pies).

3.5 Hietograma Unitario

El Hietograma o Histograma es un gráfico que expresa la precipitación en función del tiempo, es decir, la distribución de la lluvia en función del tiempo que duró la tormenta (Rojas & Puyol, 2006).



En otras palabras el hietograma es un gráfico de barras que representa la distribución de una tormenta en el tiempo el cual ocurrió. Las barras del gráfico son las alturas de lluvia y el intervalo representa el incremento de tiempo, el mismo que se mantiene constante. La suma de todos los intervalos de tiempo es la duración del evento de precipitación (Rojas & Puyol, 2006). Cuando los valores de todas las barras que representan la altura de lluvia se expresan en manera porcentual con respecto a la unidad, se habla de un hietograma o histograma unitario.

Para determinar el hietograma se utilizará el método de bloques alternos.

3.5.1 Método de bloques alternos

El método de bloques alternos consiste en formar un gráfico de barras, ubicando en la parte central el mayor valor de la precipitación, luego se alterna en orden descendente hacia la derecha e izquierda los demás valores (Chow, 1994); (Rojas & Puyol, 2006).

4 Resultados y Discusión

4.1 Precipitaciones

De la recopilación y procesamiento de la información en la Tabla 4.1.1 se tienen los valores máximos 24 horas de cada estación, para cada año del cual se tenía la información.

Tabla 4.1.1 Precipitaciones máximas 24 horas

| Año | Código de las Estaciones | | | | | | | | |
|------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ch | Hu | La | Po | Tc | Ma | Ms | Yc | Yp |
| 1997 | - | - | - | 32.5 | 32.5 | - | 49.0 | 31.0 | 33.0 |
| 1998 | - | - | - | 57.0 | 49.5 | - | 49.0 | 28.0 | 32.0 |
| 1999 | - | - | - | 44.5 | 36.0 | - | 47.5 | 28.5 | 43.5 |
| 2000 | - | - | - | 36.5 | 32.0 | - | 49.0 | 28.0 | 36.0 |
| 2001 | - | 52.2 | 30.5 | 57.5 | 35.5 | - | 36.0 | 27.5 | 29.5 |
| 2002 | 25.5 | 39.6 | 27.5 | 43.5 | 26.0 | - | 40.0 | 29.5 | 29.5 |
| 2003 | 38.0 | 44.0 | 38.5 | 40.0 | 29.0 | - | 59.0 | 33.0 | 27.5 |
| 2004 | 42.0 | 53.2 | 44.0 | 59.5 | 31.0 | 33.8 | 40.0 | 31.5 | 15.5 |
| 2005 | 38.5 | 37.8 | 37.0 | 43.0 | 52.5 | 36.6 | 48.0 | 30.0 | 27.5 |
| 2006 | 37.5 | 38.2 | 37.0 | 53.5 | 36.5 | 31.8 | 37.5 | 29.0 | 31.5 |
| 2007 | 55.5 | 61.2 | 39.5 | 47.0 | 36.5 | 34.8 | 42.5 | 26.0 | 30.0 |
| 2008 | 32.5 | 34.0 | 38.0 | 34.5 | 40.5 | 30.5 | 38.0 | 31.5 | 27.5 |
| 2009 | 37.5 | 38.0 | 31.5 | 40.0 | 33.5 | 25.1 | 73.0 | 27.5 | 28.5 |
| 2010 | - | 29.2 | - | 51.5 | 33.5 | 48.3 | 56.0 | 33.0 | 32.0 |
| 2011 | - | 50.0 | - | 71.0 | 43.0 | 32.6 | 37.0 | 35.0 | 47.0 |
| 2012 | - | 26.0 | - | 62.0 | 28.0 | 31.0 | 43.5 | 30.5 | 32.0 |
| 2013 | - | 39.8 | - | 29.5 | 32.5 | 35.8 | 65.5 | 29.5 | 26.5 |
| 2014 | - | 35.6 | - | - | - | 47.0 | - | - | - |
| 2015 | - | 45.6 | - | - | - | 26.6 | - | - | - |

En la subcuenca del río Machángara el valor máximo de precipitación 24 horas fue de 61.2mm en el año 2007, estación Huagrahuma. En la subcuenca del río Tarqui el valor máximo fue de 71mm en el año 2011, estación Portete. En la subcuenca del río Tomebamba el valor fue de 73mm en el año 2009, estación Matadero en Sayausí. Finalmente en la subcuenca del río Yanuncay el valor fue de 47mm en el año 2011, estación Yanuncay en Pucán.



En la Tabla 4.1.2 se tienen los valores máximos 24 horas de las estaciones de Cumbe y Ucubamba.

Tabla 4.1.2. Precipitaciones máximas 24 horas

| Año | Estación Cu | Año | Estación Uc |
|-------------|------------------------------|-------------|------------------------------|
| 1963 | 26.6 | 1998 | 27.5 |
| 1964 | 28.7 | 1999 | 43.0 |
| 1965 | 40.2 | 2000 | 38.5 |
| 1966 | 19.3 | 2001 | 53.0 |
| 1967 | 24.5 | 2002 | 68.0 |
| 1968 | 25.2 | 2003 | 67.5 |
| 1969 | 52.7 | 2004 | 50.5 |
| 1970 | 28.6 | 2005 | 64.5 |
| 1971 | 24.3 | 2006 | 56.0 |
| 1972 | 49.8 | 2007 | 50.5 |
| 1973 | 29.2 | 2008 | 48.0 |
| 1975 | 41.8 | 2009 | 47.0 |
| 1976 | 14.0 | 2010 | 36.0 |
| 1977 | 11.2 | 2011 | 54.5 |
| 1978 | 21.0 | 2012 | 45.0 |
| 1979 | 22.2 | 2013 | 37.5 |
| 1980 | 11.0 | - | - |
| 1981 | 24.3 | - | - |
| 1982 | 32.8 | - | - |
| 1983 | 23.5 | - | - |
| 1984 | 38.1 | - | - |
| 1985 | 29.4 | - | - |
| 1986 | 23.5 | - | - |
| 1987 | 37.0 | - | - |
| 1988 | 37.5 | - | - |
| 1989 | 34.4 | - | - |
| 1990 | 41.4 | - | - |
| 1991 | 42.0 | - | - |

La estación de Ucubamba se encuentra en la subcuenca del río Cuenca, por esta razón sus datos se utilizaron solo en la generación de Isoyetas, siendo 68 mm la mayor precipitación 24 horas en el año 2002.

En la estación Cumbe se trabajó con datos diarios desde 1963 hasta 1991, siendo el máximo valor 24 horas de 52.7mm en el año 1969.

De todas las estaciones de la Tabla 4.1.1 se hallaron los valores máximos de precipitación para valores menores de tiempo (5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 120, 240, 360, 720 minutos) (Ver Anexo 2), para obtener a partir de estos las curvas IDF.

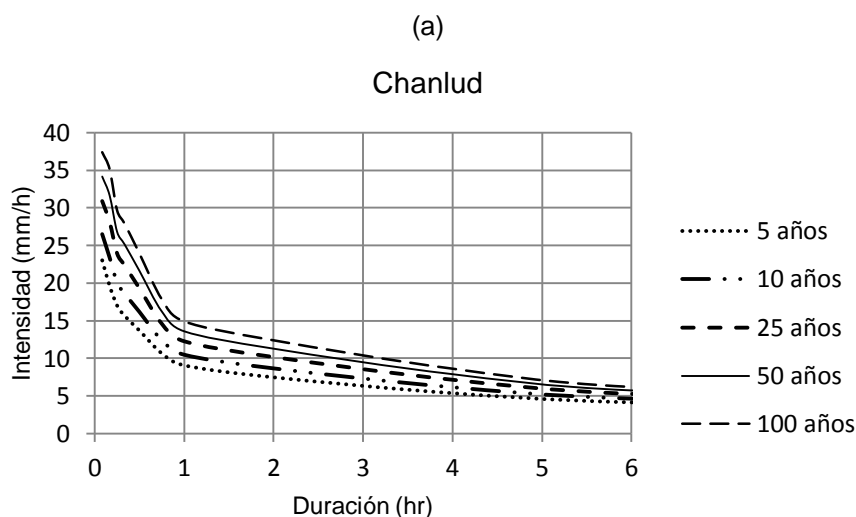
A los datos del Anexo 2 se aplicó el test de bondad de ajuste de Kolmogorov Smirnov (Ver Anexo 3), donde se obtuvo que para todos los caso de los datos el valor de D es menor al valor del estadístico Dt de Kolmogorov Smirnov (Ver Anexo 1). Por lo tanto la función de probabilidad teórica se puede aplicar para obtener las curvas IDF, pues el ajuste de la distribución de Gumbel es adecuado.

4.1.1 Curvas IDF

La función de probabilidad de Gumbel es la que se utilizó para obtener las curvas IDF.

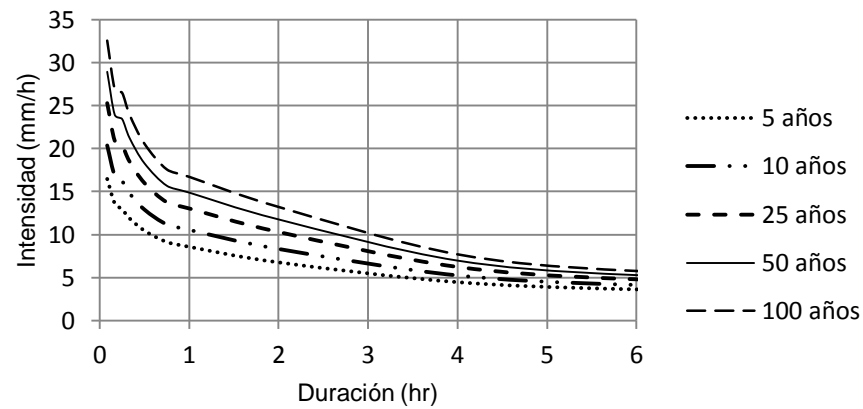
En la Figura 4.1.1.1 (a, b, c, d, e, f, g, h, i), se tienen las curvas IDF para todas las estaciones ubicadas en las subcuencas de estudio. Se observa que se grafican las curvas IDF únicamente para una duración de 6h, tiempo suficiente para la elaboración de los hietogramas correspondientes.

Figura 4.1.1.1 Curvas IDF



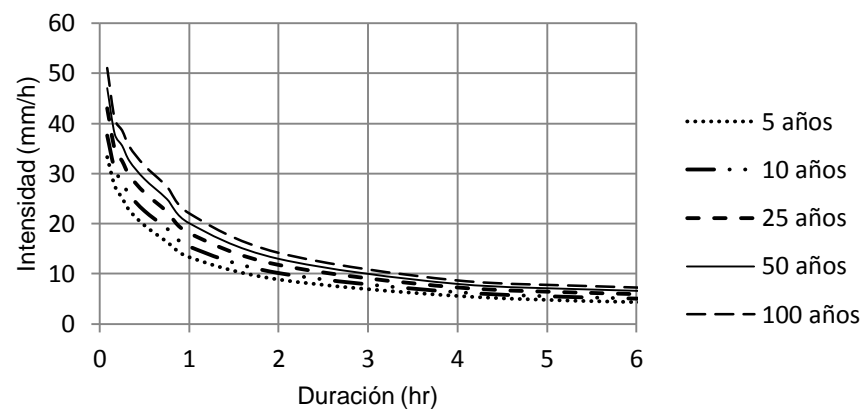
(b)

Huagrahuma



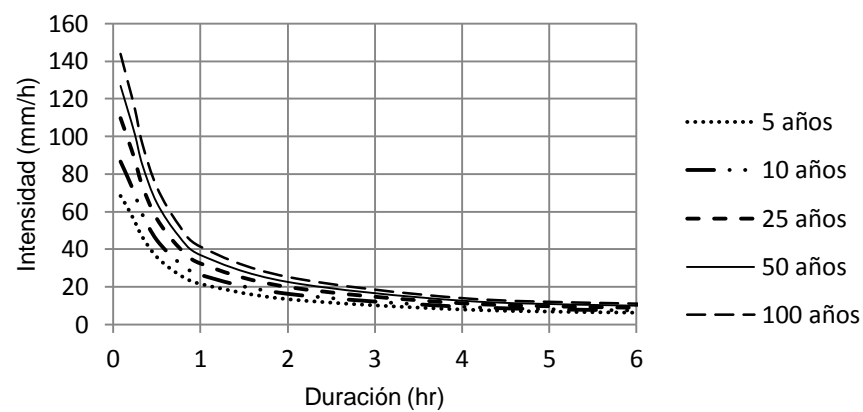
(c)

Labrado



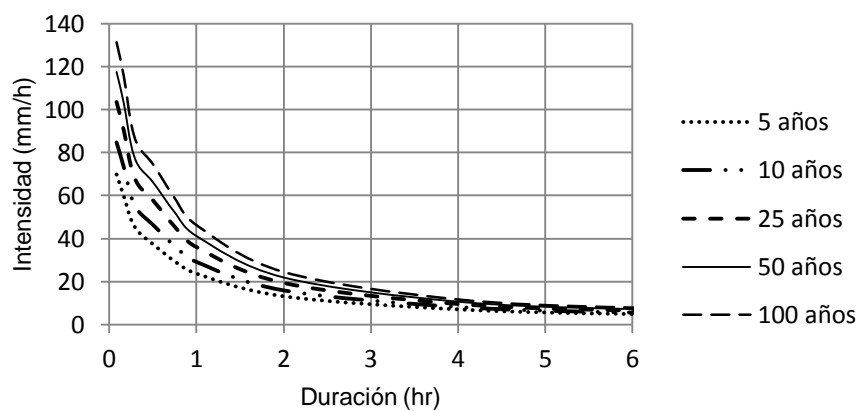
(d)

Portete



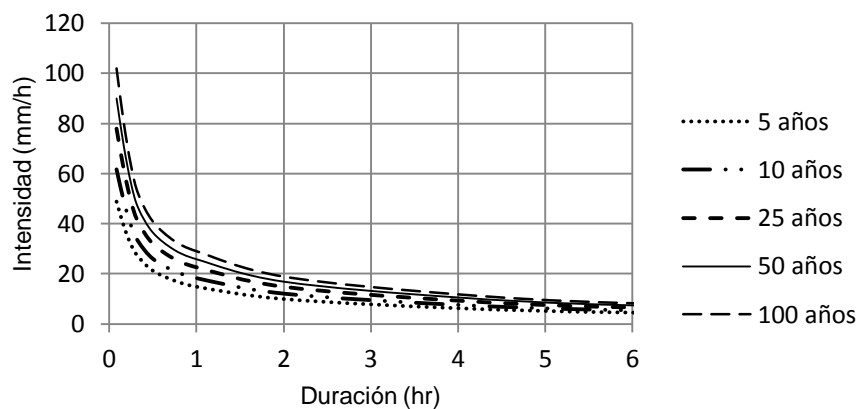
(e)

Tarqui en Cumbe



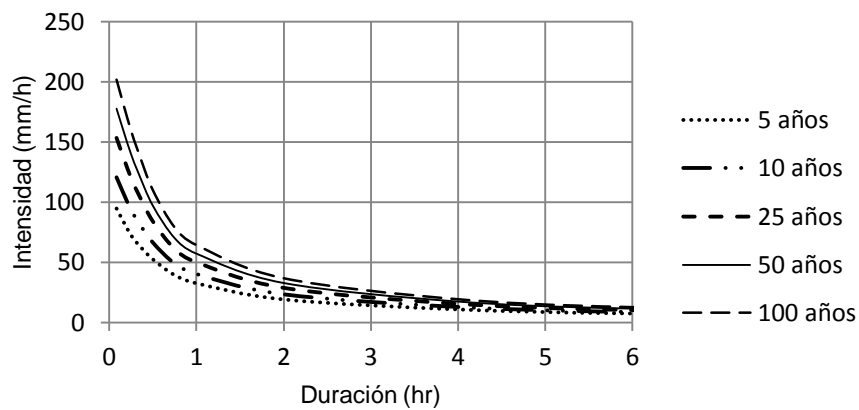
(f)

Marianza



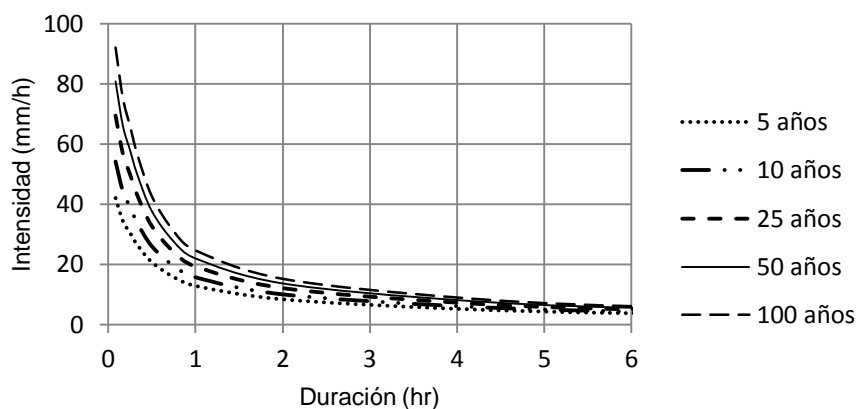
(g)

Matadero en Sayausí



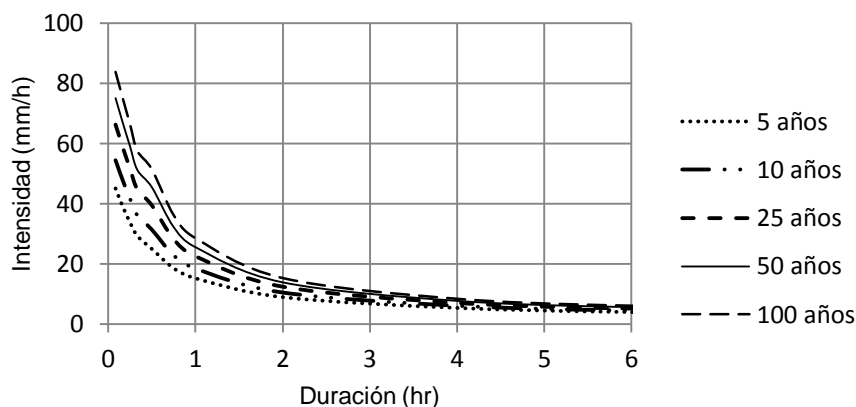
(h)

Yanuncay en Cancán



(i)

Yanuncay en Pucán



4.2 Precipitación Máxima

En la Tabla 4.2 se tiene el valor de la precipitación máxima 24 horas, para los diferentes periodos de retorno. La intensidad máxima se halló a partir de las curvas IDF (Figura 4.1.1.1).

En la Tabla 4.2, también se tiene el valor de la precipitación media anual, que varía desde 790mm a una altura de 2600ms.n.m, a 1500 mm a una altura de 3500ms.nm.

Tabla 4.2 Precipitaciones máximas 24 hrs y Precipitación media anual en mm.

| Estación | Precipitación (mm) | | | | | |
|--------------------|--------------------|--------|---------|---------|---------|----------|
| | Media anual | 5 años | 10 años | 25 años | 50 años | 100 años |
| Chanlud | 1526.3 | 44.5 | 49.5 | 55.8 | 60.5 | 65.1 |
| Labrado | 1227.4 | 39.6 | 42.6 | 46.4 | 49.3 | 52.1 |
| Matadero | 1044.7 | 55.2 | 61.4 | 69.2 | 75.0 | 80.7 |
| Portete | 1052.6 | 55.6 | 62.3 | 70.9 | 77.2 | 83.5 |
| Tarqui en Cumbe | 790.2 | 40.9 | 45.1 | 50.3 | 54.3 | 58.1 |
| Ucubamba | 859.9 | 57.4 | 64.2 | 72.6 | 78.9 | 85.2 |
| Yanuncay en Cancán | 885.2 | 31.6 | 33.0 | 34.8 | 36.1 | 37.3 |
| Yanuncay en Pucán | 852.2 | 36.1 | 40.1 | 45.1 | 48.9 | 52.6 |
| Cumbe | 613.7 | 37.5 | 43.7 | 51.6 | 57.4 | 63.2 |
| Huagrahuma | 1365.7 | 48.5 | 54.0 | 61.0 | 66.2 | 71.4 |
| Marianza | 1062.7 | 39.5 | 43.6 | 48.8 | 52.7 | 56.5 |
| Ningar | 954.3 | 43.8 | 54.2 | 67.4 | 77.2 | 86.9 |

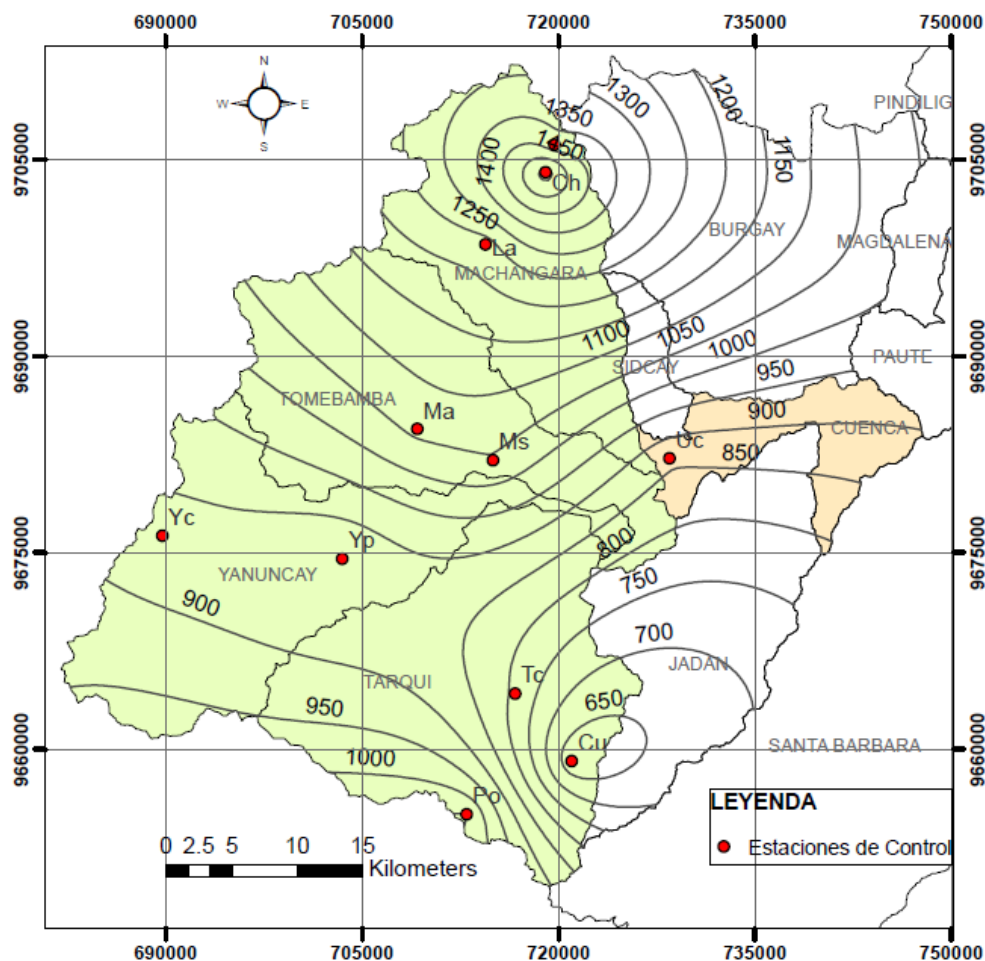
A partir de la Tabla 4.2 se generaron las Isoyetas que se presentan a continuación.

4.3 Mapa de Isoyetas.

En los mapas de Isoyetas se tiene la ubicación de las estaciones y las subcuencas delimitadas para la identificación de los análisis correspondientes.

En la Figura 4.3.1 se tiene las Isoyetas generadas a partir de Precipitación media anual. La precipitación media anual está en un rango de 650mm en la parte alta de la subcuenca del río Tarqui a 1500mm en la parte alta de la subcuenca del río Machángara.

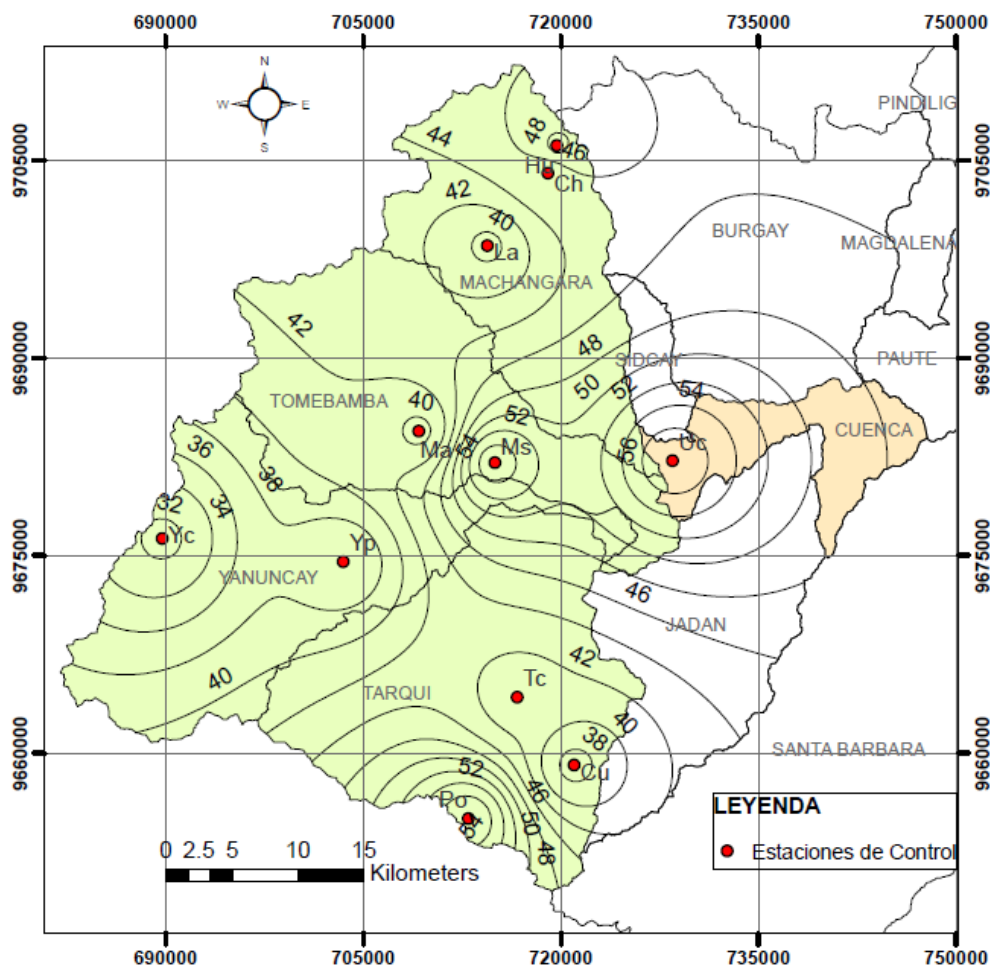
Figura 4.3.1 Isoyetas a partir de Precipitación media anual.



En la Figura 4.3.2 se tiene el mapa de Isoyetas para un periodo de retorno de 5 años. En este mapa la precipitación se encuentra en un rango de 32mm, en la parte alta de la subcuenca del río Yanuncay a 56mm en la parte alta de la subcuenca del río Tarqui y las partes antes de llegar a la ciudad de Cuenca.

En las subcuencas de los ríos Machángara, Tomebamba, Yanuncay el valor de la precipitación va aumentando conforme disminuye la altitud, mientras tanto en la subcuenca del río Tarqui a la altitud de 2600ms.n.m, se produce una depresión de la precipitación, puesto que hacia valores mayores y menores de altitud, la precipitación aumenta.

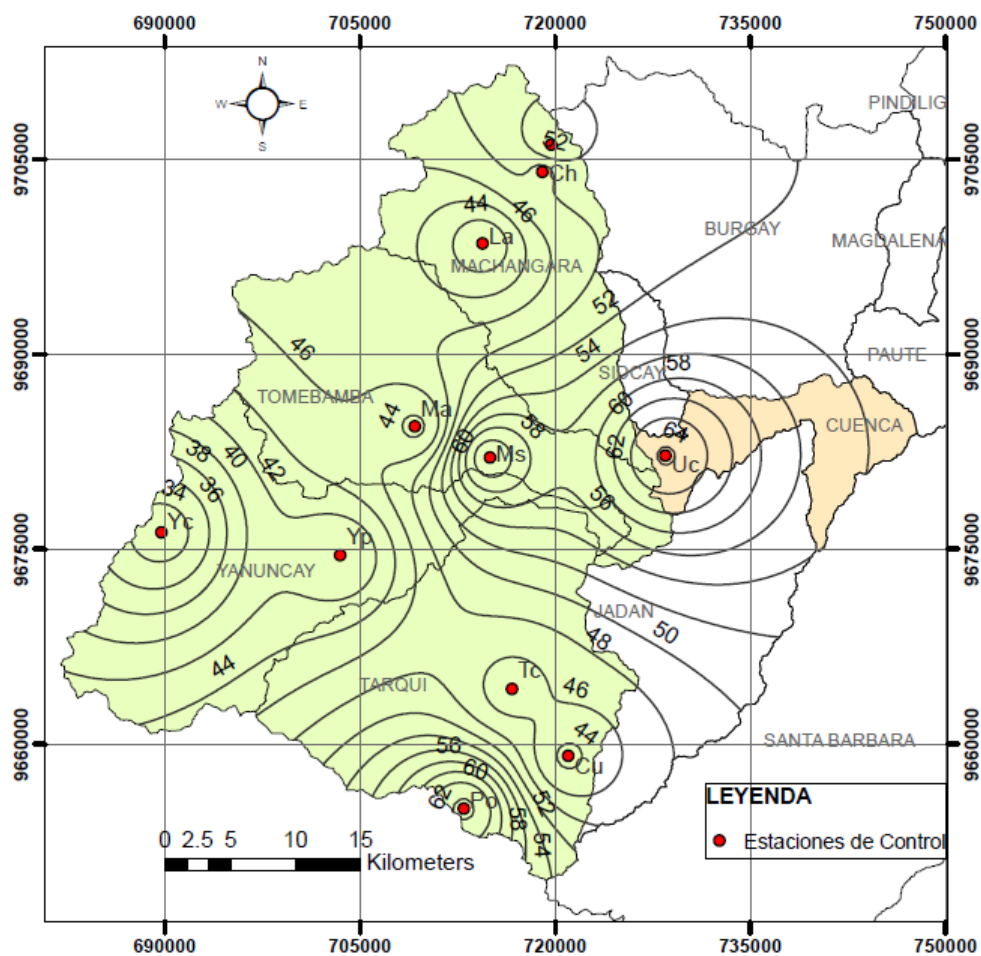
Figura 4.3.2 Isoyetas de precipitaciones para Periodo de retorno de 5 años.



En la Figura 4.3.3 se tiene las Isoyetas para un periodo de retorno de 10 años. En este mapa la precipitación se encuentra en un rango de 34mm en la parte alta de la subcuenca del río Yanuncay, a 64mm en las zonas bajas de las subcuencas, antes de llegar a la ciudad de Cuenca.

Se presenta el mismo comportamiento que de la precipitación para un periodo de retorno de 5 años.

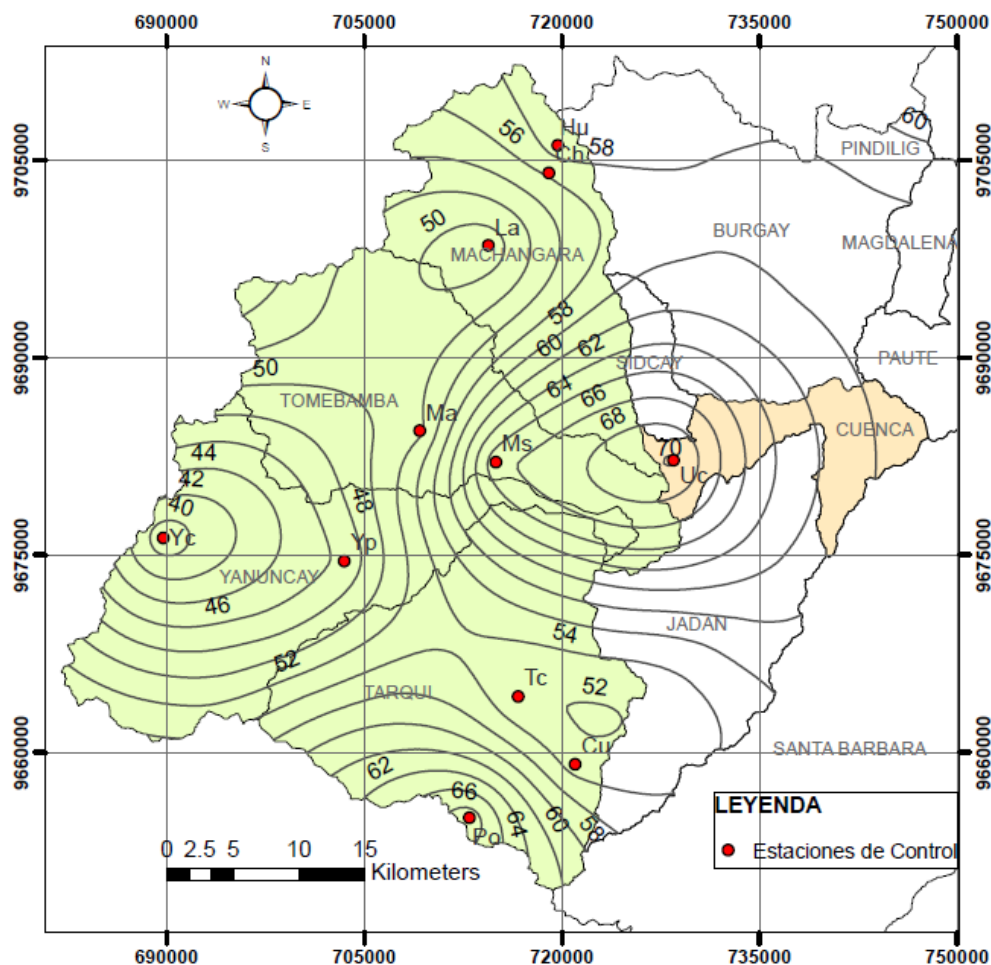
Figura 4.3.3 Isoyetas de precipitaciones para Periodo de retorno de 10 años.



En la Figura 4.3.4 se tiene las Isoyetas para un periodo de retorno de 25 años. La precipitación está en un rango de 40mm en la parte alta de la subcuenca del río Yanuncay a 70mm en las zonas bajas de las subcuencas, antes de llegar a la ciudad de Cuenca.

La precipitación presenta un comportamiento similar al de las Figuras 4.3.2, 4.3.3.

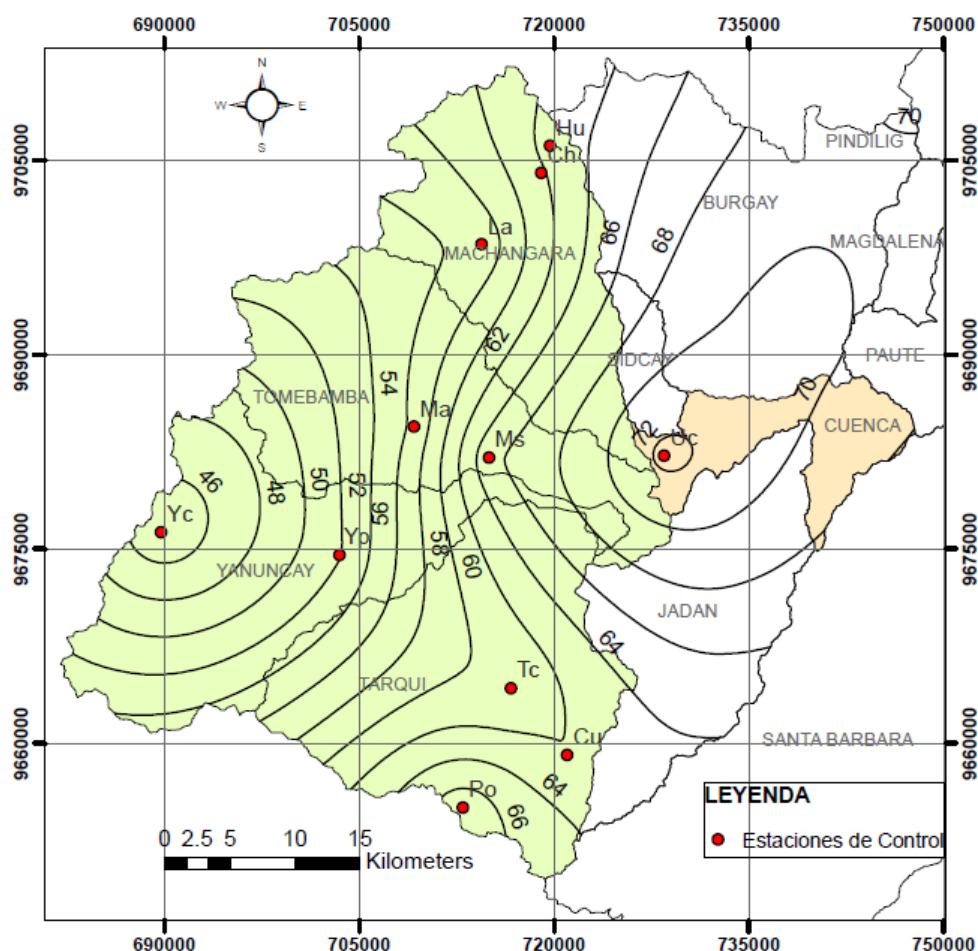
Figura 4.3.4 Isoyetas de precipitaciones para Periodo de retorno de 25 años.



En la Figura 4.3.5 se tiene las Isoyetas para un periodo de retorno de 50 años. La precipitación está en un rango de 46mm en la parte alta de la subcuenca del río Yanuncay a 72mm en las zonas bajas de las subcuencas, antes de llegar a la ciudad de Cuenca.

En esta Figura la depresión que se presentaba en la subcuenca del río Tarqui va desapareciendo, y en esta zona el cambio de valor de precipitación es mínimo, la diferencia con las Figuras anteriores es que se han suavizado las Isoyetas.

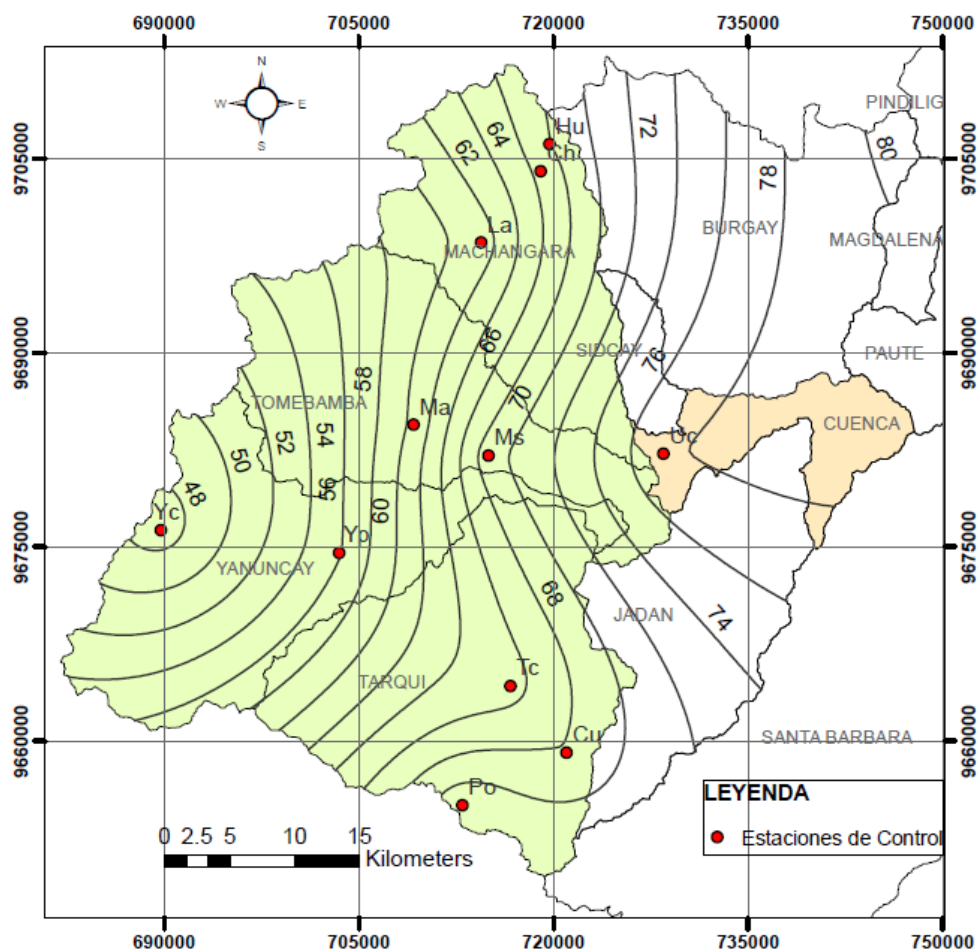
Figura 4.3.5 Isoyetas de precipitaciones para Periodo de retorno de 50 años.



En la Figura 4.3.6 se tiene las Isoyetas para un periodo de retorno de 100 años. La precipitación está en un rango de 48mm en la parte alta de la subcuenca del río Yanuncay a 78mm en las zonas bajas de las subcuencas, antes de llegar a la ciudad de Cuenca.

En la subcuenca del río Tarqui la depresión de la precipitación ha desaparecido completamente, se han suavizado las Isoyetas por lo que ya no presentan cambios bruscos en la precipitación, por lo que la precipitación va disminuyendo al descender la altitud en las subcuencas.

Figura 4.3.6 Isoyetas de precipitaciones para Periodo de retorno de 100 años.



4.4 Histogramas de Diseño

Para obtener los Histogramas de diseño, en la Tabla 4.4.1 se determinó el tiempo de concentración (t_c) en cada subcuenca a través de tres ecuaciones, obteniendo valores diferentes de t_c . Buscando la semejanza entre estos valores se determinó un valor de t_c en cada subcuenca.

Tabla 4.4.1 Tiempos de Concentración para cada subcuenca

| Estación | Tiempo de concentración (min) | | | |
|------------|-------------------------------|-----------|---------|---------|
| | California | Giandotti | Kirpich | Asumido |
| Machángara | 204 | 275 | 244 | 240 |
| Tomebamba | 187 | 249 | 200 | 210 |
| Yanuncay | 254 | 351 | 315 | 330 |
| Tarqui | 271 | 371 | 314 | 330 |

Se consideró como intervalo de discretización para los hietogramas el valor de 15min, de tal manera que también se puedan utilizar para microcuencas más específicas de la zona de investigación.

En el Anexo 4 se presentan los hietogramas para los tiempos de concentración de cada subcuenca obtenidos mediante las curvas IDF.

A partir de estos, se graficaron los histogramas unitarios para diferentes periodos de retorno.

En la Figura 4.4.2.1 se tienen los histogramas unitarios de diferentes periodos de retorno, de las estaciones de una de las subcuencas de estudio, para este caso es la subcuenca del río Machángara, los histogramas de las demás estaciones en las subcuencas de los ríos Tarqui, Tomebamba y Yanuncay se encuentran en el Anexo 5.

Para todos los gráficos de los Histogramas unitarios (Figura 4.4.2.1 y Anexo 5), el eje de las ordenadas (Precipitación), se encuentra de manera porcentual con respecto a la unidad, por ejemplo si se indica un valor de 0.2 en las ordenadas, representa al 20% de la precipitación.

En todos los casos de las figuras 4.4.2 la estación de Labrado en los 15min máximos del evento presenta el mayor valor de precipitación entre 27% y 28% mientras que en las estaciones de Chanlud y Huagrahuma sus valores varían entre 18% y 22%.

Figura 4.4.2.1. Histogramas Unitarios de la Subcuenca del río Machángara para $T_r=5$ años

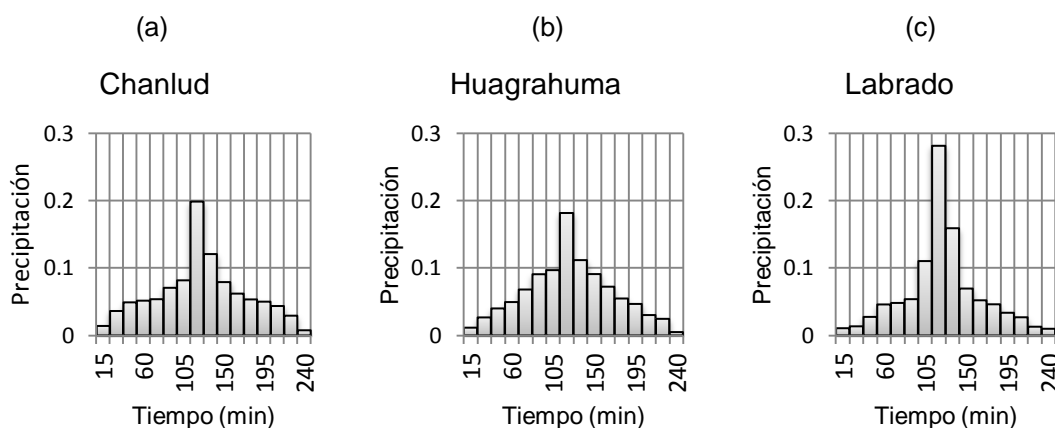


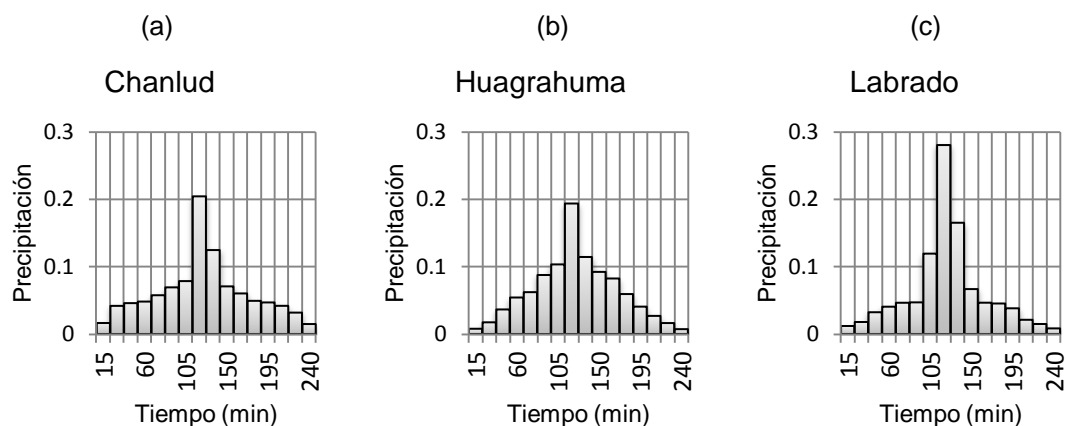
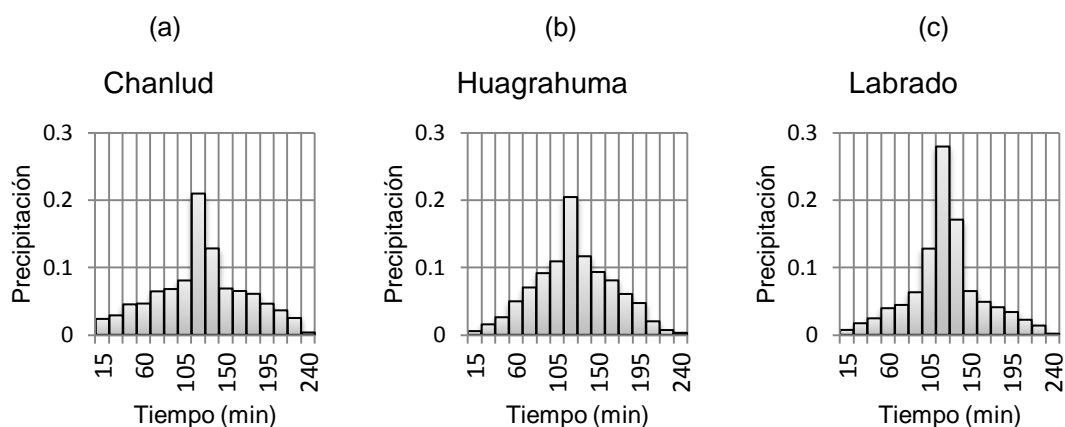
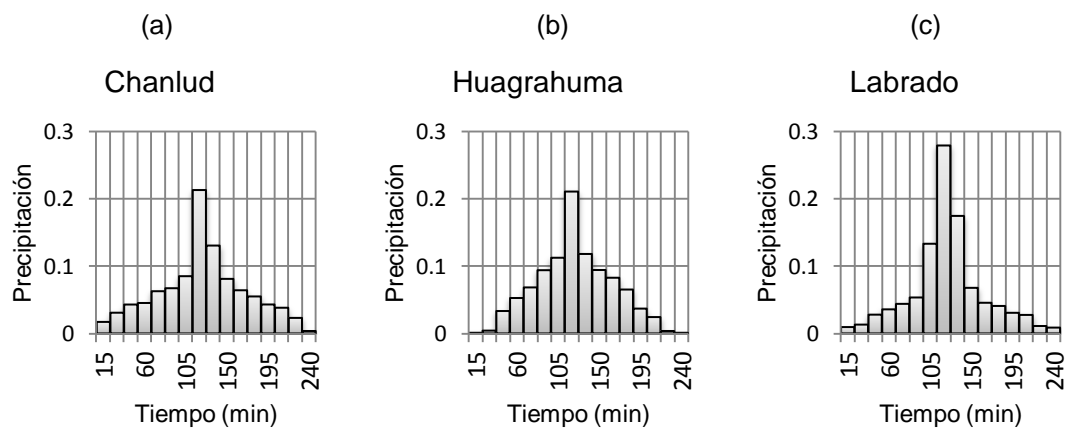
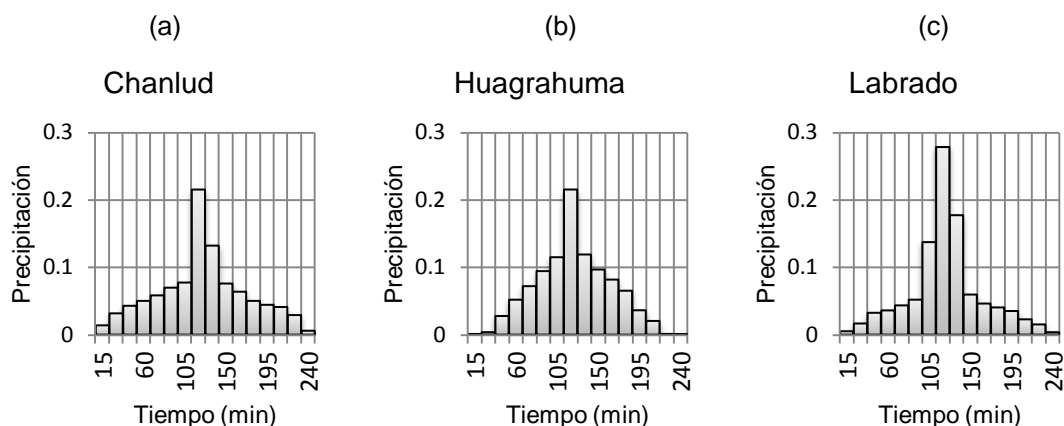
Figura 4.4.2.2. Histogramas Unitarios de la Subcuenca del río Machángara para $T_r=10$ añosFigura 4.4.2.3. Histogramas Unitarios de la Subcuenca del río Machángara para $T_r=25$ añosFigura 4.4.2.4. Histogramas Unitarios de la Subcuenca del río Machángara para $T_r=50$ años

Figura 4.4.2.5. Histogramas Unitarios de la Subcuenca del río Machángara para $T_r=100$ años

De los resultados presentados en el Anexo 5 se tiene:

Subcuenca del río Tarqui: En los 15min máximos del evento, la estación Tarqui en Cumbe y la estación Portete presentan el mayor valor de precipitación en un rango entre 40% y 50% para todos los T_r .

Subcuenca del río Tomebamba: la estación de Matadero en Sayausí en los 15min máximos del evento presenta el mayor valor de precipitación entre 42% y 50% mientras que en la estación Marianza sus valores varían entre 32% y 34% para todos los T_r .

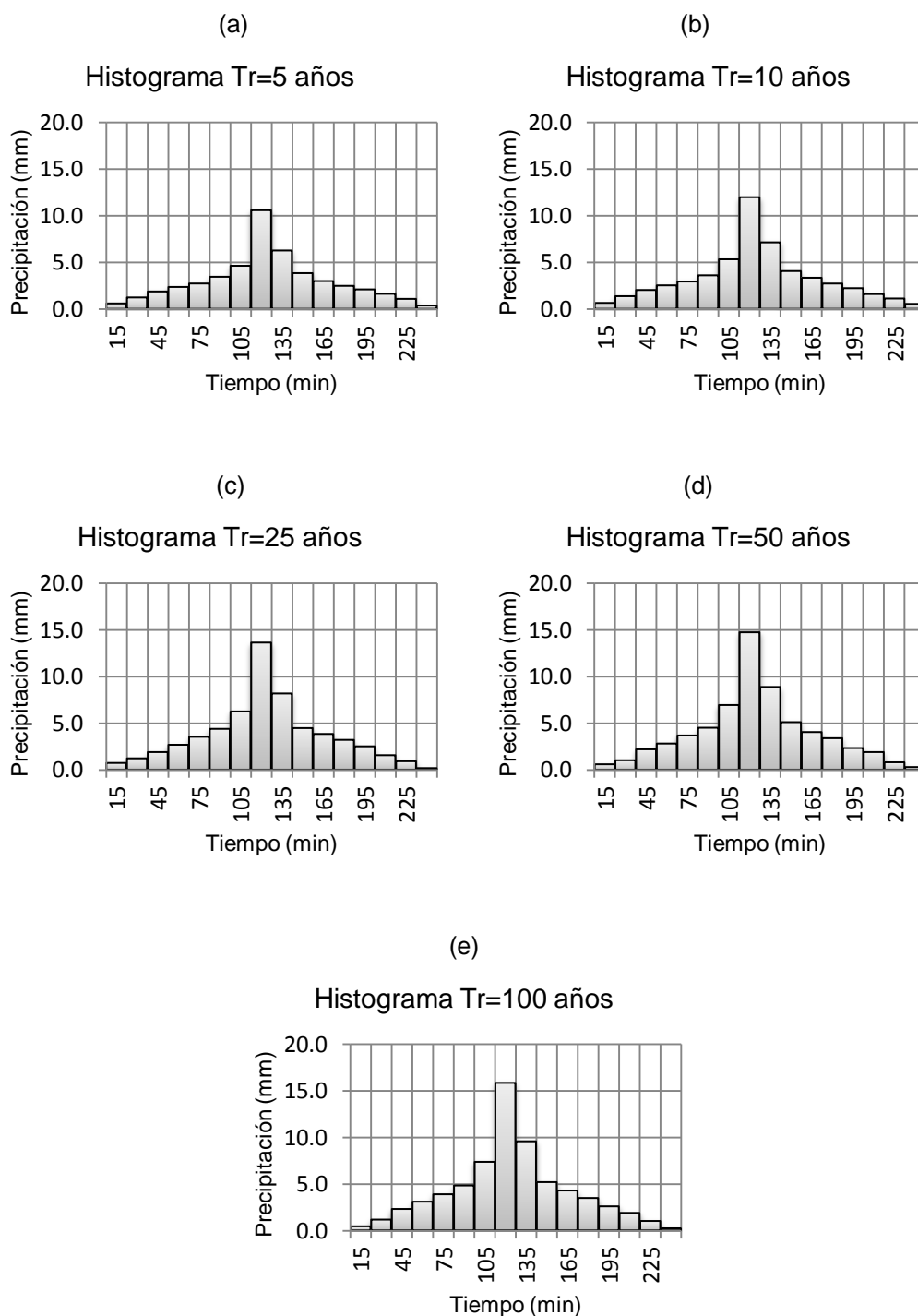
Subcuenca del río Yanuncay: En los 15min máximos del evento la estación Yanuncay en Pucán y la estación Yanuncay en Cancán, presentan el mayor valor de precipitación para $T_r=5$, 10, y 25 años en un rango entre 34% y 43%. Para los $T_r=50$ y 100 años, los valores de la precipitación se mantuvieron con valores semejantes de 43% a 45% en las dos estaciones.

A partir de los histogramas unitarios se busca obtener un histograma de diseño, para cada una de las subcuencas. Debido a esto, se realizó un promedio aritmético de los valores unitarios de los histogramas de las estaciones de cada subcuenca para cada periodo de retorno, este histograma al multiplicarlo por la precipitación promedio obtenida a partir de las Isoyetas, genera un Histograma representativo de cada subcuenca según su periodo de retorno.

En la figura 4.4.3.1 se tiene los histogramas de diseño para distintos periodos de retorno de la subcuenca del río Machángara. Los valores de las precipitaciones en los 15min donde ocurre el valor máximo del evento varían entre 11 y 16mm, aumentando conforme el periodo de retorno. Considerando

un valor de 60min, el total de la precipitación representa un 50% a 60% del evento total.

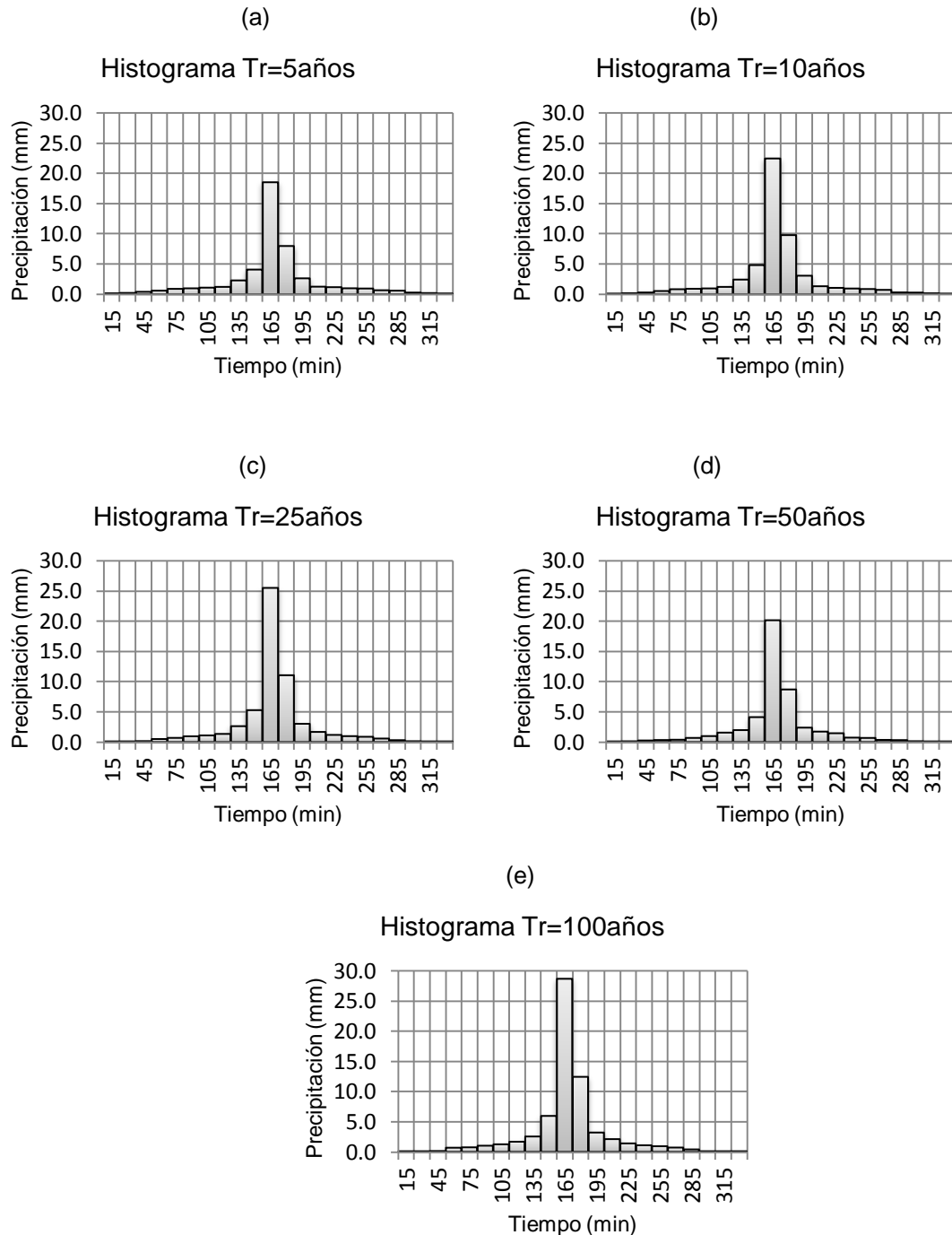
Figura 4.4.3.1 Histogramas de diseño para la Subcuenca del río Machángara.



En la figura 4.4.3.2 se tiene los histogramas de diseño para distintos periodos de retorno de la subcuenca del río Tarqui. Los valores de las precipitaciones en

los 15min donde ocurre el valor máximo del evento varían entre 19 y 29mm, aumentando conforme el periodo de retorno. Considerando un valor de 60min, el total de la precipitación representa un 70% a 80% del evento total.

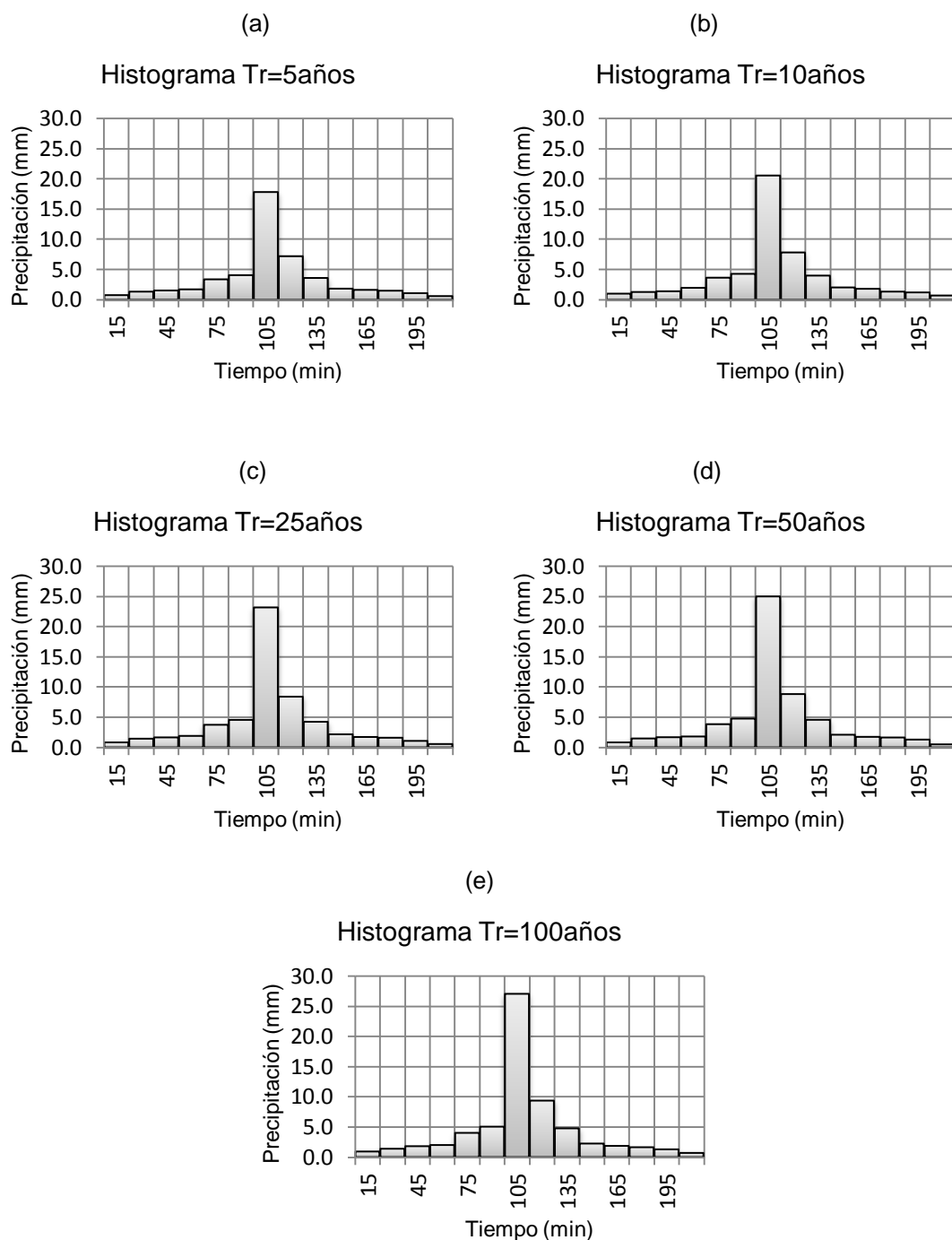
Figura 4.4.3.2 Histogramas de diseño para la subcuenca del río Tarqui.



En la figura 4.4.3.3 se tiene los histogramas de diseño para distintos periodos de retorno de la subcuenca del río Tomebamba. Los valores de las

precipitaciones en los 15min donde ocurre el valor máximo del evento varían entre 18 y 27mm, aumentando conforme el periodo de retorno. Considerando un valor de 60min, el total de la precipitación representa un 65% a 75% del evento total.

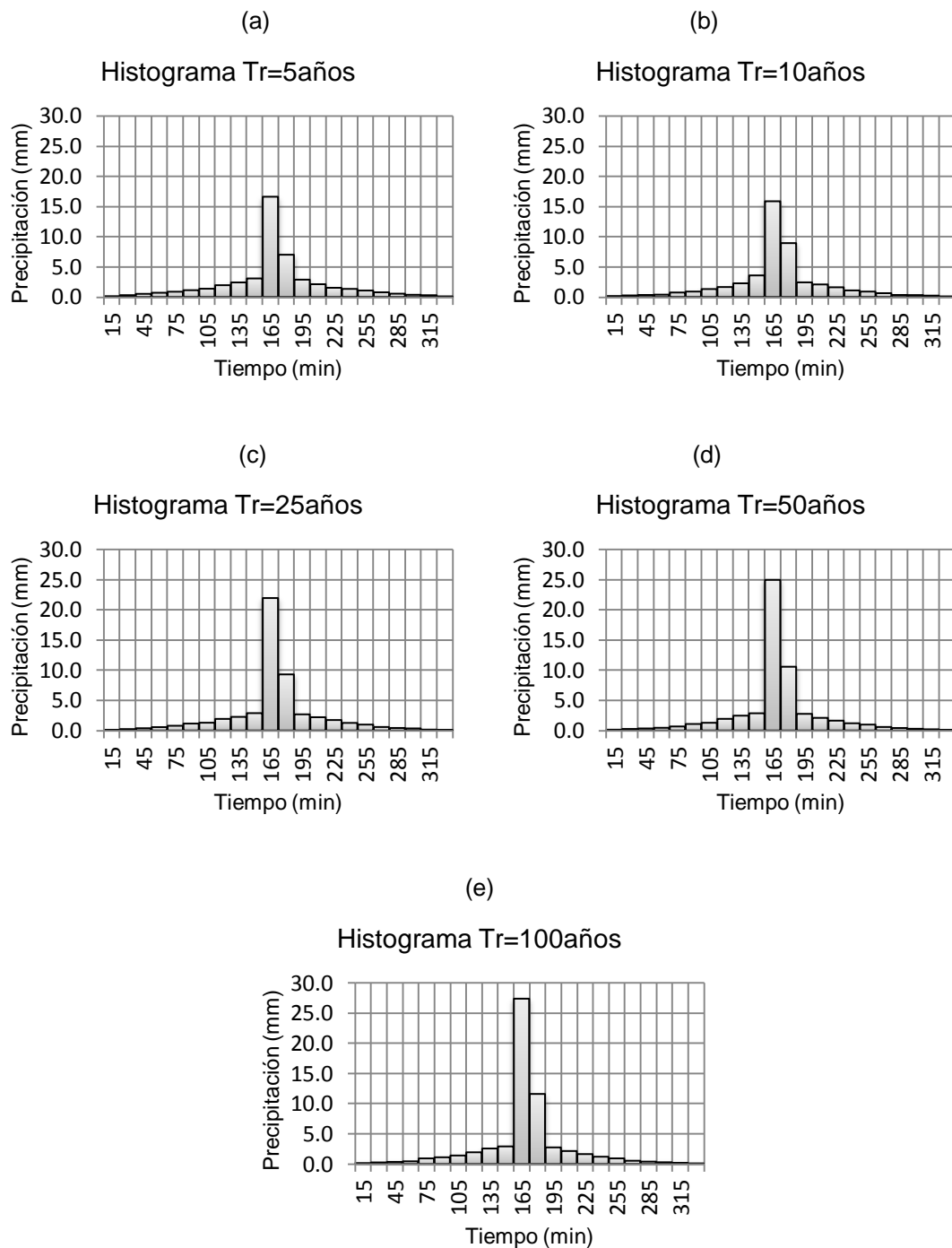
Figura 4.4.3.3 Histogramas de diseño para la subcuenca del río Tomebamba.



En la figura 4.4.3.4 se tiene los histogramas de diseño para distintos periodos de retorno de la subcuenca del río Yanuncay. Los valores de las

precipitaciones en los 15min donde ocurre el valor máximo del evento varían entre 17 y 28mm, aumentando conforme el periodo de retorno. Considerando un valor de 60min, el total de la precipitación representa un 60% a 70% del evento total.

Figura 4.4.3.4 Histogramas de diseño para la subcuenca del río Yanuncay.



4.5 Análisis de los resultados

A partir de los datos de Precipitaciones máximas 24 horas, registrados en los datos obtenidos de las estaciones (Tabla 4.1.1 y 4.1.2), la que presentó el mayor valor de precipitación en 24 horas fue la subcuenca del río Tomebamba, con un valor de 73mm en el 2009. Por otro lado, la que presentó el menor valor de precipitación 24 horas fue la subcuenca del río Yanuncay con 47mm en el año 2011. De ahí que, en la subcuenca del río Tomebamba se ha producido el mayor evento de precipitación 24 horas que ha sido registrado.

En las curvas IDF, que se generaron a partir de las precipitaciones máximas en diferente escala temporal y para cinco periodos de retorno (Figura 4.1.1), se obtuvo que en la subcuenca del río Machángara para un $Tr=5$ años, el valor de la intensidad para cinco minutos en la estación Labrado es mayor en un 40% con respecto a las estaciones de Chanlud y Huagrahuma. La estación Labrado se encuentra a menor altitud con respecto a las otras dos estaciones.

En la subcuenca del río Tarqui para el mismo caso ($Tr=5$ años), la intensidad en la estación Tarqui en Cumbe aumenta en un 1% con respecto a la estación Portete. La estación de Tarqui en Cumbe se encuentra a menor altitud con respecto a la estación Portete.

En la subcuenca del río Tomebamba para el mismo caso ($Tr=5$ años), la intensidad en la estación Matadero en Sayausí aumenta en un 50% con respecto a la estación Marianza. La estación de Matadero en Sayausí se encuentra a menor altitud con respecto a la estación de Marianza.

En la subcuenca del río Yanuncay para el mismo caso ($Tr=5$ años), la intensidad en la estación Yanuncay en Pucán aumenta en un 5% con respecto a la estación Yanuncay en Cancán. La estación de Yanuncay en Pucán se encuentra a menor altitud con respecto a la estación Yanuncay en Cancán.

Para los $Tr=10$ años y $Tr=25$ años, ocurre de manera similar. Por lo tanto, la altitud es un factor que influye en la precipitación, siendo a menor altitud mayor valor de intensidad.

Para un periodo de retorno de 100 años:

Subcuenca del río Machángara: El valor de la intensidad para cinco minutos en la estación Labrado es mayor en un 30-40% con respecto a las estaciones de Huagrahuma y Chanlud respectivamente.



Subcuenca del río Tarqui: El valor de la intensidad para cinco minutos en la estación Portete es mayor en un 10% con respecto a la estación Tarqui en Cumbe.

Subcuenca del río Tomebamba: El valor de la intensidad para cinco minutos en la estación Matadero en Sayausí es mayor en un 100% con respecto a la estación Marianza.

Subcuenca del río Yanuncay: El valor de la intensidad para cinco minutos en la estación Yanuncay en Cancán es mayor en un 10% con respecto a la estación Yanuncay en Pucán.

Se tiene un comportamiento similar de las intensidades para $Tr=50$ años.

Para estos periodos de retorno (50, 100años), no existe un patrón de semejanza de la altitud de las estaciones que influya en los valores de las intensidades, además en el caso de la estación de Matadero en Sayausí, prácticamente el valor de la intensidad se duplicó con respecto a la estación de Marianza.

Por lo que debido a la longitud de los datos (hasta 16 años), existe incertidumbre con respecto a las intensidades obtenidas para los $Tr=50$ y $Tr=100$ años.

Los mapas de Isoyetas, se generaron utilizando las curvas IDF y permiten analizar la variabilidad espacial de la precipitación en las subcuencas.

En la Figura 4.3.1 (Isoyetas a partir de precipitación media anual) se muestra la variabilidad espacial de la precipitación que existe en las subcuencas. El valor de la precipitación varía de un 30 a 40%, siendo la subcuenca del río Tarqui la que menor valor presenta, y la parte alta de la subcuenca del río Machángara la zona de mayor precipitación. Por lo tanto no existe ninguna relación entre la precipitación máxima 24horas con la precipitación media anual, pues el máximo evento 24 horas se produjo en la subcuenca del río Tomebamba.

La subcuenca del río Tarqui al estar cerca de la subcuenca del río Jubones, presenta influencia del régimen de Costa, por eso, sus valores bajos de precipitación, mientras la subcuenca del río Machángara presenta la influencia de las corrientes del Atlántico.

Para las Figuras 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5 y 4.3.6, que son las Isoyetas para $Tr=5$, 10, 25, 50 y 100años, la variabilidad espacial muestra que al aumentar el Tr la precipitación aumenta en las partes bajas de las subcuencas de estudio (subcuenca del río cuenca).



La precipitación varía en un rango de 40 a 50%, siendo la subcuenca del río Yanuncay la zona de menor precipitación, y las partes bajas de las subcuencas las de mayor precipitación. En estas figuras también se tiene relación entre la altitud y la precipitación, la precipitación aumenta conforme disminuye la altitud.

En las subcuenca del río Tarqui, en la estación de Cumbe (INAMHI) se tiene cierta incertidumbre puesto que los datos con los que se trabajo era hasta 1991, por lo tanto, no se utilizó eventos de los últimos años como fue el caso de las estaciones del PROMAS Universidad de Cuenca y ETAPA EP.

Los Histogramas se obtuvieron a partir de las curvas IDF, y permiten analizar la variabilidad temporal de la precipitación. Como dato previo a la elaboración de los histogramas se debe conocer el tiempo de concentración de las subcuencas.

El tiempo de concentración de una subcuenca no depende del área de la subcuenca sino de la geomorfología de esta (Upegui & Gutiérrez, 2011), porque la subcuenca del río Tomebamba es mayor en un 14% al área de la subcuenca del río Machángara, pero su tiempo de concentración es menor. En las fórmulas utilizadas para determinar t_c , también depende de la longitud del cauce principal, pues las subcuencas de los ríos Tarqui y Yanuncay son las que tienen el mayor t_c , pues tenían una longitud de cauce bastante semejante y mayor a la longitud de las otras dos subcuencas.

En la Figura 4.4.2.1, 4.4.2.2, 4.4.2.3, 4.4.2.4, 4.4.2.5 (Histogramas unitarios de la subcuenca del río Machángara $T_r=5, 10, 25, 50, 100$ años) el valor del pico más alto de precipitación varía en un 20-30% de las estaciones de Chanlud y Huagrahuma con respecto a la de Labrado.

De los resultados presentados en el anexo 5:

En la subcuenca del río Tarqui el valor del pico más alto de precipitación varía en un 5-10% de la estación de Portete con respecto a la de Tarqui en Cumbe.

En la subcuenca del río Tomebamba el valor del pico más alto de precipitación varía en un 20-30% de la estación de Portete con respecto a la de Tarqui en Cumbe.

En la subcuenca del río Yanuncay el valor del pico más alto de precipitación varía en un 10-20% de la estación de Yanuncay en Cancán con respecto a la de Yanuncay en Pucán.



Siendo el máximo rango de 20-30% de variación entre las estaciones de una misma subcuenca.

A partir de estos histogramas unitarios se generaron los histogramas de diseño de las subcuencas, usando como precipitación de diseño la precipitación media de cada subcuenca, obtenida a partir de las Isoyetas para su respectivo periodo de retorno (T_r).

Siendo la subcuenca del río Machángara la que presentó el mayor valor de precipitación media para todos los periodos considerados.

En las figuras 4.4.3.1 (Histogramas de diseño para la Subcuenca del río Machángara), se tiene que la precipitación máxima que ocurre en 15min representa un 20-25% del evento y en los 60 min que engloban a la precipitación máxima representan un 50-60% del evento total de precipitación.

En las figuras 4.4.3.2 y 4.4.3.3 (Histogramas de diseño para las Subcuencas de los ríos Tarqui y Tomebamba), se tiene que la precipitación máxima que ocurre en 15min representa un 40-45% del evento y en los 60 min que engloban a la precipitación máxima representan un 65-80% del evento total de precipitación.

En las figuras 4.4.3.4 (Histogramas de diseño para la Subcuenca del río Yanuncay), se tiene que la precipitación máxima que ocurre en 15min representa un 35-45% del evento y en los 60 min que engloban a la precipitación máxima representan un 60-70% del evento.

Para todas las subcuencas, los primeros y últimos 60min cuando comienza y termina el evento representan como máximo un 10% de todo el evento o hasta menos como en el caso de las subcuencas de los ríos Tarqui y Yanuncay que puede representar 1% del evento.

De todos los resultados se rescata que, las precipitaciones en la cuenca alta del río Paute presentan alta intensidad y corta duración, dado que un 60 y 80% de los eventos de 24 horas ocurren en un periodo de 60min, de esta precipitación se generan los caudales de crecida máximos de los principales ríos que cruzan la ciudad de Cuenca.



5 Conclusiones

- Esta investigación tuvo por objetivo analizar la variabilidad espacial y temporal de la precipitación y obtener los histogramas de diseño de diferentes periodos de retorno para las subcuencas de la cuenca alta del río Paute.
- Se trabajó con información de 11 estaciones pluviométricas de tres diferentes entidades: PROMAS Universidad de Cuenca, ETAPA EP, y el INAMHI. La información de la mayoría de las estaciones son datos instantáneos, con los cuales se podrían generar las curvas IDF y posteriormente hallar los histogramas de diseño, pero de la estación del INAMHI se contó como información cruda con datos diarios, los mismos que se utilizaron para obtener las Isoyetas y analizar la variabilidad espacial en las subcuencas.
- Con los registros de las precipitaciones se tiene que la subcuenca del río Tomebamba fue la que presentó el mayor evento de precipitación en 24 horas.
- Tanto en las curvas IDF como en las Isoyetas generadas para diferentes periodos de retorno se obtuvo que la altura es un factor importante en la predicción de la intensidad y de la precipitación puesto que a menor altura mayor será el valor de la precipitación.
- En el mapa de las Isoyetas generadas a partir de la precipitación media anual se obtuvo que la subcuenca del río Machángara es la subcuenca que mayor valor de la precipitación registra, llegando a niveles de 1500mm.
- En el caso de los Histogramas de diseño, se tuvo que la subcuenca del río Machángara es la que mayor precipitación media presentó para todos los periodos de retorno. Como 60min es el tiempo que representa a un 70-80% del evento total de precipitación, en las subcuencas de los ríos Tarqui, Tomebamba y Yanuncay, mientras en Machángara representa a un 50-60% del evento total.
- En todas las subcuencas, los 60min del Histograma representan desde el 60% hasta al 80% del evento total de precipitación registrado en 24 horas, por lo tanto las precipitaciones son muy intensas y de corta duración.
- Siendo así, se debe considerar que las precipitaciones que más efecto adverso causan en los ríos de Cuenca ocasionando posibles desbordamientos e inundaciones son para las lluvias muy intensas cuya duración no sobrepasa los 60min.
- Al disponer de histogramas de diseño actualizados en toda la zona de la cuenca alta del río Paute, permiten mejorar la calidad de los estudios



hidrológicos e hidráulicos de los cuatro ríos principales que atraviesan la ciudad de Cuenca.

- En este trabajo no se ha realizado un estudio comparativo con los resultados que se obtendrían mediante la aplicación de la metodología del INAMHI, sin embargo se recomienda proceder con este estudio a efecto de obtener conclusiones en cuanto a la aplicabilidad.
- El uso de herramientas computacionales como el software Arcgis, fue fundamental en este trabajo para la delimitación de las subcuencas y la elaboración de la Isoyetas, permitiendo emplear un método de interpolación que no esté sujeto a errores humanos.



6 Recomendaciones

Debido a que se trabajó con cuatro subcuencas (1600km^2) y 11 estaciones (una estación cada 150Km^2), existe la necesidad de tener una red de monitoreo más densa en la cuenca del río Paute, que brinde información instantánea para ajustar los resultados de los que se dispone actualmente.

Se recomienda utilizar en un futuro, un mayor número de pluviómetros existentes, que son monitoreados por otras entidades como el caso de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) y la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), que han venido monitoreando desde hace pocos años la precipitación en la cuenca alta del río Paute.

De igual manera se recomienda incrementar la inversión en las estaciones meteorológicas, para monitorear la zona del páramo que es una de las más importantes, porque aporta al abastecimiento de agua potable y riego a la ciudad de Cuenca, así como en las estaciones existentes realizar un control y mantenimiento para evitar vacíos en la información o datos que puedan resultar erróneos.

La topografía debido a sus características complejas, es una fuente de incertidumbre, por lo que se recomienda tratarla en investigaciones posteriores.

Debido a los cambios de uso del suelo, los incendios y cambio climático, la variabilidad espacial de la cuenca alta del río Paute puede ser modificada, por eso se recomienda utilizar la mayor cantidad de información de la que se disponga para generar las Isoyetas.

En (Patricio Crespo et al., 2014) al trabajar con siete microcuencas ubicadas en la cuenca del río Paute se obtuvo que los valores de la precipitación variaron entre 900-1600mm, en (Céleri et al., 2007) para altitudes mayores a 3000m la precipitación variaba entre 1000-1400mm, estos valores se afirmaron en el mapa de Isoyetas medias anual pues el valor obtenido en las subcuencas varía de 650 a 1500mm. Pero en el caso de (Céleri et al., 2007), no se encontró una relación para toda la cuenca entre la altitud y la precipitación. Mientras que para las cuatro subcuencas de estudio, se obtuvo que a menor altitud es mayor la precipitación. Por lo que se recomendaría trabajar por zonas alta, central y baja de la cuenca para revisar si existe alguna relación entre la precipitación y/o intensidad con la altitud.

7 Referencias

- Barbancho, A. C. (1998). Variabilidad espacial de la lluvia en una pequeña cuenca hidrográfica de la provincia de Cáceres. *Norba. Revista de Geografía*, (10), 23–34.
- Basabe, P., Almeida, E., Ramón, P., Zeas, R., & Alvarez, L. (1996). Avance en la prevención de desastres naturales en la cuenca del río Paute, Ecuador. *Bull. Inst. Fr. Études Andines*, 25(3), 443–458.
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (2006a). Hidrología del páramo andino: Propiedades, importancia y vulnerabilidad. Cuenca. Recuperado: http://www.paramo.org/files/hidrologia_paramo.pdf.
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006b). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79, 53–72. <http://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
- Buytaert, W., Céleri, R., Willems, P., Bièvre, B. De, & Wyseure, G. (2006c). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*, 329, 413–421. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.02.031>
- Buytaert, W., Iñiguez, V., & Bièvre, B. De. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251, 22–30. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.035>
- Buytaert, W., Iñiguez, V., Celleri, R., De Bièvre, B., Wyseure, G., & Deckers, J. (2006d). Analysis of the water balance of small páramo catchments in south Ecuador. In *Environmental role of wetlands in headwaters* (pp. 271–281). Springer.
- Buytaert, W., Vuille, M., Dewulf, a., Urrutia, R., Karmalkar, a., & Céleri, R. (2010). Uncertainties in climate change projections and regional downscaling in the tropical Andes: Implications for water resources management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 1247–1258. <http://doi.org/10.5194/hess-14-1247-2010>
- Buytaert, W., Wyseure, G., De Bièvre, B., & Deckers, J. (2005). The effect of land-use changes on the hydrological behaviour of Histic Andosols in south Ecuador. *Hydrological Processes*, 19(DECEMBER), 3985–3997. <http://doi.org/10.1002/hyp.5867>
- Canavos, G. C., & Medal, E. G. U. (1987). *Probabilidad y estadística*. McGraw Hill.



- Célleri, R., Willems, P., Buytaert, W., & Feyen, J. (2007). Space-time rainfall variability in the Paute basin, Ecuadorian Andes. *Hydrological Processes*, 21(NOVEMBER), 3316–3327. <http://doi.org/10.1002/hyp.6575>
- Chow, V. te. (1994). *Hidrología Aplicada* (pp. 80 – 82). I.
- Crespo, P., Celleri, R., Buytaert, W., & Feyen, J. (2010). Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo ecosystems. ... of *Hydrology in Small ...*, (APRIL). <http://doi.org/10.13140/2.1.5137.6320>
- Crespo, P., Célleri, R., Buytaert, W., Ochoa, B., Cárdenas, I., Iñiguez, V., & Borja, P. (2014). Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos. *Avances En Investigación Para La Conservación de Los Páramos Andinos*, 288 – 304.
- De Bievre, B. (2009). Estado del conocimiento de la hidrología de ecosistemas andinos. In *Workshop on Integrated Space Technologies Applications for Sustainable Development in the Mountain Regions of Andean Countries*. Lima, Peru, septiembre (Vol. 14).
- Dercon, G., Bossuyt, B., De Bièvre, B., Cisneros, F., & Deckers, J. (1998). Zonificación agroecológica del Austro ecuatoriano, 148 p. *Cuenca: U Ediciones*.
- García-Marín, A., Roldán-Cañas, J., Estévez, J., Moreno-Pérez, F., Serrat-Capdevila, A., González, J., ... Giráldez, J. V. (2014). La hidrología y su papel en ingeniería del agua. *Ingeniería Del Agua*, 18(1), 1–14.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2010). Métodos para la determinación del tiempo de concentración (t_c) de una cuenca hidrográfica, 9.
- INAMHI. (1999). Lluvias Intensas Máximas. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- Izquierdo, T., Márquez, Á., & others. (2007). Estudio comparativo de diferentes métodos de interpolación para la realización de mapas de precipitación en la isla de La Gomera (Islas Canarias): Evaluación de la incorporación de la altura.
- Koutsoyiannis, D., Kozonis, D., & Manetas, A. (1998). A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology*, 206(1), 118–135.
- Lilliefors, H. W. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 62(318), 399–402.



- Mejía, F., Mesa, O., Poveda, G., Vélez, J., Hoyos, C., Mantilla, R., ... Botero, B. (1999). Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. *DYNA*, 127, 7–26.
- Nhat, L. M., Tachikawa, Y., & Takara, K. (2006). Establishment of Intensity-Duration-Frequency curves for precipitation in the monsoon area of Vietnam. *Annals of Disas. Prev. Res. Inst*, 93–103.
- Puga, N., Jimenez, J., Solís, D., Cabrera, E., Durán, J., Salamea, T., & Zalamea, A. (2014). Ensayos para la obtención de mapas de precipitación y temperatura de la cuenca del Paute a partir de datos de estaciones meteorológicas y técnicas de interpolación espacial y geoestadística. *Galileo*, 43 – 50.
- Reyes, O. A. C. (2014). Utilización de modelos hidrológicos para la determinación de cuencas en ecosistemas de páramo. *Revista Ambiental Agua, Aire Y Suelo*, 4(2).
- Rojas, A. G., & Puyol, D. R. A. F. B. (2006). Hietogramas de diseño en Zonas Urbanas.
- Segerer, C., & Villodas, E. R. (2006). Hidrología I. *Universidad Nacional de Cuyo, Argentina*.
- Tapia, R. P., Martínez, F. A. A., & Villanelo, F. J. P. F. (2001). Análisis Comparativo de las Curvas Intensidad--Duración--Frecuencia (IDF) en 6 Estaciones Pluviográficas (VII Región del Maule, Chile). *Chile: Universidad de Talca*.
- Torres, P., Céleri, R., Cisneros, F., & Feyen, J. (2007). Análisis de la distribución espacial de lluvia en cuencas de montaña, 1–25.
- Upegui, J. J. V., & Gutiérrez, A. B. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *Dyna*, 165, 59.
- Vuille, M., Bradley, R. S., & Keimig, F. (2000). Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic sea surface temperature anomalies. *Journal of Climate*, 13(14), 2520–2535.



8 Anexos

8.1 Anexo 1. Distribución del estadístico de Kolmogorov Smirnov (Dt)

| n | α | | | | | n | α | | | | |
|----|----------|-------|-------|-------|-------|-----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 0'2 | 0'1 | 0'05 | 0'02 | 0'01 | | 0'2 | 0'1 | 0'05 | 0'02 | 0'01 |
| 1 | 0'900 | 0'950 | 0'975 | 0'990 | 0'995 | 21 | 0'226 | 0'259 | 0'287 | 0'321 | 0'344 |
| 2 | 0'684 | 0'776 | 0'842 | 0'900 | 0'929 | 22 | 0'221 | 0'253 | 0'281 | 0'314 | 0'337 |
| 3 | 0'565 | 0'636 | 0'780 | 0'785 | 0'829 | 23 | 0'216 | 0'247 | 0'275 | 0'307 | 0'330 |
| 4 | 0'493 | 0'565 | 0'624 | 0'689 | 0'734 | 24 | 0'212 | 0'242 | 0'269 | 0'301 | 0'323 |
| 5 | 0'447 | 0'509 | 0'563 | 0'627 | 0'669 | 25 | 0'208 | 0'238 | 0'264 | 0'295 | 0'317 |
| 6 | 0'410 | 0'468 | 0'519 | 0'577 | 0'617 | 26 | 0'204 | 0'233 | 0'259 | 0'290 | 0'311 |
| 7 | 0'381 | 0'436 | 0'483 | 0'538 | 0'576 | 27 | 0'200 | 0'229 | 0'254 | 0'284 | 0'305 |
| 8 | 0'358 | 0'410 | 0'454 | 0'507 | 0'542 | 28 | 0'197 | 0'225 | 0'250 | 0'279 | 0'300 |
| 9 | 0'339 | 0'387 | 0'430 | 0'480 | 0'513 | 29 | 0'193 | 0'221 | 0'246 | 0'275 | 0'295 |
| 10 | 0'323 | 0'369 | 0'409 | 0'457 | 0'489 | 30 | 0'190 | 0'218 | 0'242 | 0'270 | 0'290 |
| 11 | 0'308 | 0'352 | 0'391 | 0'437 | 0'468 | 31 | 0'187 | 0'214 | 0'238 | 0'266 | 0'285 |
| 12 | 0'296 | 0'338 | 0'375 | 0'419 | 0'449 | 32 | 0'184 | 0'211 | 0'234 | 0'262 | 0'281 |
| 13 | 0'285 | 0'325 | 0'361 | 0'404 | 0'432 | 33 | 0'182 | 0'208 | 0'231 | 0'258 | 0'277 |
| 14 | 0'275 | 0'314 | 0'349 | 0'390 | 0'418 | 34 | 0'179 | 0'205 | 0'227 | 0'254 | 0'273 |
| 15 | 0'266 | 0'304 | 0'338 | 0'377 | 0'404 | 35 | 0'177 | 0'202 | 0'224 | 0'251 | 0'269 |
| 16 | 0'258 | 0'295 | 0'327 | 0'366 | 0'392 | 36 | 0'174 | 0'199 | 0'221 | 0'247 | 0'265 |
| 17 | 0'250 | 0'286 | 0'318 | 0'355 | 0'381 | 37 | 0'172 | 0'196 | 0'218 | 0'244 | 0'262 |
| 18 | 0'244 | 0'279 | 0'309 | 0'346 | 0'371 | 38 | 0'170 | 0'194 | 0'215 | 0'241 | 0'258 |
| 19 | 0'237 | 0'271 | 0'301 | 0'337 | 0'361 | 39 | 0'168 | 0'191 | 0'213 | 0'238 | 0'255 |
| 20 | 0'232 | 0'265 | 0'294 | 0'329 | 0'352 | 40 | 0'165 | 0'189 | 0'21 | 0'235 | 0'252 |
| | | | | | | >40 | $\frac{1'07}{\sqrt{n}}$ | $\frac{1'22}{\sqrt{n}}$ | $\frac{1'36}{\sqrt{n}}$ | $\frac{1'52}{\sqrt{n}}$ | $\frac{1'63}{\sqrt{n}}$ |



8.2 Anexo 2. Tablas de precipitaciones máximas en mm a diferente escala temporal.

| Año | Chanlud | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| | Duración (min) | | | | | | | | | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 | 120 | 240 | 360 | 720 | 1440 |
| 2002 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 4.5 | 6.5 | 8.5 | 13.5 | 19.5 | 25.5 |
| 2003 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 8.0 | 13.0 | 16.5 | 27.5 | 38.0 |
| 2004 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | 14.0 | 20.5 | 28.0 | 33.5 | 42.0 |
| 2005 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 4.5 | 5.5 | 7.0 | 9.0 | 16.5 | 19.5 | 20.0 | 31.5 | 38.5 |
| 2006 | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 10.0 | 17.5 | 25.0 | 31.0 | 37.5 |
| 2007 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.5 | 5.0 | 6.0 | 9.0 | 14.5 | 18.0 | 31.5 | 55.5 |
| 2008 | 2.0 | 4.0 | 5.0 | 6.5 | 9.0 | 10.0 | 10.5 | 15.5 | 21.5 | 21.5 | 21.5 | 32.5 |
| 2009 | 2.0 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 7.0 | 8.5 | 10.0 | 16.5 | 25.5 | 26.5 | 34.5 | 37.5 |

| Año | Huagrahuma | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Duración (min) | | | | | | | | | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 | 120 | 240 | 360 | 720 | 1440 |
| 2001 | 1.0 | 1.6 | 1.8 | 2.2 | 2.8 | 4.2 | 5.0 | 9.6 | 15.2 | 22.6 | 30.8 | 52.2 |
| 2002 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.8 | 4.0 | 5.2 | 8.2 | 11.4 | 17.0 | 24.2 | 39.6 |
| 2003 | 1.0 | 1.6 | 2.0 | 2.6 | 3.6 | 5.0 | 6.0 | 9.8 | 13.2 | 14.8 | 25.8 | 44.0 |
| 2004 | 0.6 | 1.2 | 1.8 | 2.2 | 3.2 | 4.2 | 5.0 | 7.6 | 13.6 | 17.4 | 29.0 | 53.2 |
| 2005 | 1 | 1.8 | 2.4 | 3 | 4.6 | 6 | 7.4 | 12.2 | 18.2 | 22.8 | 28.8 | 37.8 |
| 2006 | 0.8 | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 3 | 3.6 | 4.6 | 8 | 12 | 15.6 | 19.2 | 38.2 |
| 2007 | 0.8 | 1.4 | 2.0 | 2.4 | 3.2 | 4.4 | 5.6 | 10.0 | 17.6 | 23.6 | 38.8 | 61.2 |
| 2008 | 0.8 | 1 | 1.4 | 2 | 2.8 | 4 | 4.8 | 6.2 | 10.4 | 13.4 | 24.6 | 34 |
| 2009 | 2.6 | 4.6 | 7 | 8.4 | 10.8 | 13.8 | 17.4 | 27.4 | 29.2 | 29.4 | 31.8 | 38 |
| 2010 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.4 | 3.2 | 4.2 | 7.0 | 9.2 | 11.8 | 20.6 | 29.2 |
| 2011 | 0.8 | 1.4 | 2.2 | 2.4 | 3.6 | 4.4 | 5.2 | 7.6 | 13.6 | 19 | 33.6 | 50 |
| 2012 | 0.8 | 1.4 | 2 | 2.6 | 3 | 4 | 4.2 | 6 | 7.8 | 10.4 | 14.2 | 26 |
| 2013 | 1.8 | 2.4 | 2.8 | 3.6 | 4.6 | 5.8 | 8.2 | 12 | 17.6 | 19.4 | 20.4 | 39.8 |
| 2014 | 0.4 | 0.8 | 1 | 1.2 | 1.8 | 2.4 | 3 | 4.6 | 7.8 | 11 | 20.8 | 35.6 |
| 2015 | 1 | 1.6 | 2.4 | 3 | 3.6 | 5.4 | 6.4 | 9 | 12.8 | 20 | 32.4 | 45.6 |



Labrado

| Año | Duración (min) | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 | 120 | 240 | 360 | 720 | 1440 |
| 2001 | 2.0 | 4.0 | 5.5 | 6.5 | 7.0 | 8.0 | 9.5 | 13.0 | 14.5 | 15.5 | 17.0 | 30.5 |
| 2002 | 1.5 | 3.0 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.0 | 8.5 | 13.5 | 15.0 | 15.0 | 24.5 | 27.5 |
| 2003 | 3.0 | 5.5 | 8.0 | 10.0 | 12.0 | 15.0 | 16.5 | 21.0 | 26.0 | 32.5 | 33.0 | 38.5 |
| 2004 | 3.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.5 | 8.0 | 8.5 | 13.5 | 24.5 | 32.5 | 38.0 | 44.0 |
| 2005 | 2.5 | 4.5 | 6.5 | 8.0 | 12.0 | 15.0 | 16.0 | 21.0 | 21.0 | 21.0 | 28.0 | 37.0 |
| 2006 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 7.5 | 10.5 | 11.5 | 14.5 | 19.5 | 19.5 | 23 | 37 |
| 2007 | 1.5 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 8.0 | 14.0 | 16.5 | 27.0 | 39.5 |
| 2008 | 3 | 4.5 | 5.5 | 6 | 9 | 11.5 | 12 | 16.5 | 22 | 22.5 | 22.5 | 38 |
| 2009 | 2 | 3.5 | 5 | 5.5 | 7 | 8 | 8 | 10 | 11.5 | 13 | 23 | 31.5 |

Portete

| Año | Duración (min) | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 | 120 | 240 | 360 | 720 | 1440 |
| 1997 | 5.0 | 10.0 | 12.0 | 13.0 | 13.5 | 15.5 | 17.0 | 17.5 | 17.5 | 17.5 | 17.5 | 32.5 |
| 1998 | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 7.5 | 10.5 | 14.0 | 15.5 | 20.5 | 31.0 | 36.5 | 48.5 | 57.0 |
| 1999 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.0 | 9.5 | 18.5 | 23.0 | 40.0 | 44.5 |
| 2000 | 3.0 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 7.0 | 10.0 | 14.5 | 19.0 | 19.5 | 36.5 |
| 2001 | 5.5 | 10.5 | 14 | 15.5 | 16.5 | 18 | 20 | 26.5 | 32.5 | 38.5 | 48 | 57.5 |
| 2002 | 3 | 5 | 6.5 | 7.5 | 8.5 | 9.5 | 11.5 | 13 | 14.5 | 20 | 33 | 43.5 |
| 2003 | 2.5 | 4.5 | 5.5 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 13.5 | 18.5 | 22.0 | 23.5 | 30.0 | 40.0 |
| 2004 | 6.5 | 11.5 | 17 | 22 | 29.5 | 32.5 | 34 | 46.5 | 47.5 | 48 | 48 | 59.5 |
| 2005 | 10.5 | 17.5 | 24.5 | 25.5 | 26 | 28 | 29 | 31.5 | 35.5 | 39 | 39 | 43 |
| 2006 | 4.5 | 8 | 10.5 | 12.5 | 15 | 18 | 20.5 | 23 | 27 | 29.5 | 35 | 53.5 |
| 2007 | 2.5 | 5 | 7 | 8.5 | 11 | 13.5 | 15.5 | 17.5 | 20 | 20.5 | 29.5 | 47 |
| 2008 | 1 | 2 | 2 | 2.5 | 3.5 | 5 | 6.5 | 10 | 15.5 | 19 | 26.5 | 34.5 |
| 2009 | 4 | 8 | 10 | 10.5 | 10.5 | 11 | 12 | 15.5 | 19.5 | 25 | 34 | 40 |
| 2010 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5.5 | 7 | 13 | 22 | 29.5 | 45.5 | 51.5 |
| 2011 | 8 | 15.5 | 18 | 21 | 24 | 26 | 27 | 31.5 | 39 | 58 | 70.5 | 71 |
| 2012 | 2.5 | 4.5 | 6.5 | 8 | 10 | 11 | 14 | 21.5 | 30 | 31.5 | 38.5 | 62 |
| 2013 | 1.5 | 3 | 3.5 | 4.5 | 6 | 7 | 9.5 | 11.5 | 11.5 | 13 | 17 | 29.5 |



| Tarqui en Cumbe | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Año | Duración (min) | | | | | | | | | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 | 120 | 240 | 360 | 720 | 1440 |
| 1997 | 4.0 | 7.5 | 10.5 | 11.5 | 13.5 | 16.5 | 22.0 | 27.5 | 28.5 | 28.5 | 28.5 | 32.5 |
| 1998 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | 9.0 | 13.5 | 21.5 | 29.0 | 40.5 | 49.5 |
| 1999 | 3.0 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 7.0 | 8.5 | 9.5 | 15.0 | 17.5 | 17.5 | 25.5 | 36.0 |
| 2000 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 5.5 | 6.5 | 9.5 | 15.0 | 18.0 | 21.5 | 32.0 |
| 2001 | 3 | 5.5 | 7.5 | 9.5 | 11.5 | 13 | 13.5 | 16 | 22 | 24.5 | 24.5 | 35.5 |
| 2002 | 6.5 | 11.5 | 12.5 | 12.5 | 13.5 | 18 | 18.5 | 19 | 22.5 | 24.5 | 24.5 | 26 |
| 2003 | 2 | 3.5 | 3.5 | 4.5 | 6 | 7 | 7.5 | 8 | 15.5 | 17.5 | 18 | 29 |
| 2004 | 3 | 5 | 5.5 | 6.5 | 10.5 | 11 | 13.5 | 15 | 15.5 | 15.5 | 16 | 31 |
| 2005 | 4.5 | 8 | 11.5 | 16 | 19.5 | 24.5 | 26 | 26.5 | 26.5 | 26.5 | 26.5 | 52.5 |
| 2006 | 3.5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 13 | 13 | 13.5 | 14.5 | 14.5 | 28 | 36.5 |
| 2007 | 9 | 15.5 | 18.5 | 22 | 30 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31.5 | 31.5 | 36.5 |
| 2008 | 1.5 | 3 | 4 | 4.5 | 6 | 7 | 8 | 12 | 19 | 20 | 20.5 | 40.5 |
| 2009 | 5.5 | 9 | 11.5 | 13.5 | 18 | 23.5 | 26.5 | 30 | 30 | 30 | 30 | 33.5 |
| 2010 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7 | 7 | 7.5 | 8.5 | 11.5 | 17 | 18 | 24 | 33.5 |
| 2011 | 7 | 12.5 | 16 | 19.5 | 30 | 37.5 | 39 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 |
| 2012 | 5.5 | 11 | 12.5 | 13.5 | 14 | 16 | 17.5 | 18 | 18 | 18 | 18.5 | 28 |
| 2013 | 6.5 | 9.5 | 11.5 | 13 | 14.5 | 16.5 | 18.5 | 23 | 27.5 | 27.5 | 28.5 | 32.5 |

| Marianza | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Año | Duración (min) | | | | | | | | | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 | 120 | 240 | 360 | 720 | 1440 |
| 2004 | 1.8 | 3.0 | 3.8 | 4.6 | 5.6 | 7.4 | 8.4 | 12.7 | 14.0 | 14.2 | 19.1 | 33.8 |
| 2005 | 1.3 | 2.3 | 2.5 | 3.3 | 3.8 | 5.1 | 5.3 | 7.6 | 11.9 | 17.0 | 27.4 | 36.6 |
| 2006 | 1.5 | 2.3 | 3.0 | 3.6 | 4.6 | 5.1 | 5.3 | 9.9 | 14.2 | 16.5 | 17.3 | 31.8 |
| 2007 | 7.4 | 11.2 | 13.0 | 13.7 | 16.3 | 18.3 | 18.3 | 18.8 | 19.3 | 21.8 | 22.4 | 34.8 |
| 2008 | 2.8 | 4.1 | 5.1 | 6.1 | 7.1 | 7.9 | 8.4 | 9.7 | 13.0 | 15.2 | 17.8 | 30.5 |
| 2009 | 2.0 | 3.6 | 4.8 | 5.8 | 6.9 | 8.1 | 8.9 | 14.5 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 25.1 |
| 2010 | 2.0 | 3.6 | 5.1 | 6.1 | 8.6 | 11.4 | 13.2 | 19.1 | 27.4 | 34.0 | 43.2 | 48.3 |
| 2011 | 0.8 | 1.4 | 1.6 | 2.2 | 2.6 | 3.8 | 4.4 | 6.8 | 10.6 | 14.2 | 23 | 32.6 |
| 2012 | 3 | 5.2 | 5.8 | 6.4 | 6.4 | 6.6 | 6.6 | 10.2 | 12.6 | 12.8 | 21.6 | 31 |
| 2013 | 3.4 | 4.8 | 7 | 8.6 | 11.6 | 16.2 | 20.4 | 27.4 | 35.2 | 35.8 | 35.8 | 35.8 |
| 2014 | 5 | 8.8 | 10.4 | 12 | 13.2 | 16 | 20 | 28.6 | 36 | 36.2 | 36.2 | 47 |
| 2015 | 2 | 3.4 | 4.4 | 5.2 | 5.8 | 7 | 8.4 | 9.4 | 12.6 | 13.2 | 19.4 | 26.6 |



Matadero en Sayausí

| Año | Duración (min) | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 | 120 | 240 | 360 | 720 | 1440 |
| 1997 | 3.0 | 5.5 | 6.5 | 8.0 | 10.0 | 13.5 | 16.5 | 18.0 | 18.0 | 18.5 | 34.5 | 49.0 |
| 1998 | 4.5 | 6.5 | 8.5 | 10.5 | 12.5 | 13.5 | 14 | 15.5 | 27.5 | 28.5 | 29 | 49 |
| 1999 | 11.5 | 19.0 | 26.0 | 32.0 | 36.5 | 37.0 | 38.0 | 38.5 | 38.5 | 38.5 | 43.5 | 47.5 |
| 2000 | 2.0 | 3.5 | 4.0 | 5.5 | 7.5 | 9.5 | 10.0 | 11.0 | 18.0 | 23.0 | 34.0 | 49.0 |
| 2001 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 6.5 | 8.0 | 12.0 | 22.5 | 29.0 | 34.5 | 36.0 |
| 2002 | 5.5 | 9.0 | 10.0 | 10.5 | 17.5 | 18.5 | 20.5 | 21.0 | 23.0 | 23.0 | 31.5 | 40.0 |
| 2003 | 2.5 | 4.5 | 5.5 | 6 | 7 | 9.5 | 11 | 19.5 | 31.5 | 42 | 53 | 59 |
| 2004 | 8 | 15.5 | 22.5 | 26.5 | 32.5 | 35.5 | 36.5 | 39 | 39.5 | 39.5 | 40 | 40 |
| 2005 | 4.5 | 7.0 | 8.0 | 8.5 | 8.5 | 9.0 | 10.5 | 14.0 | 17.0 | 20.5 | 38.0 | 48.0 |
| 2006 | 3.5 | 5.5 | 8.0 | 10.0 | 14.5 | 18.0 | 23.5 | 32.0 | 32.0 | 32.0 | 32.5 | 37.5 |
| 2007 | 4.5 | 8 | 10.5 | 12.5 | 19 | 25.5 | 29 | 29.5 | 30 | 30 | 30 | 42.5 |
| 2008 | 2.5 | 5.0 | 7.5 | 9.5 | 12.0 | 14.0 | 15.5 | 20.0 | 22.0 | 24.5 | 28.0 | 38.0 |
| 2009 | 7.0 | 12.5 | 15.5 | 20.0 | 29.5 | 39.5 | 49.5 | 64.5 | 68.5 | 68.5 | 73.0 | 73.0 |
| 2010 | 16 | 29 | 37.5 | 43.5 | 47.5 | 48 | 48.5 | 50 | 55 | 55 | 55.5 | 56 |
| 2011 | 3 | 5.5 | 6.5 | 8 | 10.5 | 12.5 | 14 | 24 | 33.5 | 35 | 35.5 | 37 |
| 2012 | 5 | 9 | 10 | 11 | 16 | 20.5 | 22.5 | 23 | 43 | 43 | 43.5 | 43.5 |
| 2013 | 4 | 6 | 7.5 | 11 | 14.5 | 20 | 25 | 39 | 44.5 | 44.5 | 44.5 | 65.5 |

Yanuncay en Cancán

| Año | Duración (min) | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 | 120 | 240 | 360 | 720 | 1440 |
| 1997 | 7.5 | 12.5 | 16.0 | 18.5 | 20.5 | 22.5 | 24.0 | 27.5 | 30.0 | 30.5 | 30.5 | 31.0 |
| 1998 | 1.5 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.5 | 4.5 | 5.0 | 7.0 | 12.5 | 17.0 | 21.5 | 28.0 |
| 1999 | 3.0 | 5.0 | 7.0 | 8.5 | 11.0 | 13.0 | 13.5 | 17.0 | 17.0 | 18.5 | 19.5 | 28.5 |
| 2000 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 8.0 | 12.0 | 13.5 | 18.0 | 28.0 |
| 2001 | 3 | 3.5 | 3.5 | 4 | 5.5 | 6.5 | 7 | 8 | 11 | 14 | 20.5 | 27.5 |
| 2002 | 3 | 3.5 | 5 | 6 | 6.5 | 7.5 | 9.5 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 20 | 29.5 |
| 2003 | 3 | 5.5 | 8 | 9.5 | 11 | 12 | 13.5 | 16.5 | 22 | 22 | 27.5 | 33 |
| 2004 | 4.5 | 7.5 | 10 | 10.5 | 11.5 | 11.5 | 12 | 16.5 | 19.5 | 21.5 | 21.5 | 31.5 |
| 2005 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5.5 | 7.5 | 8 | 11 | 13.5 | 14.5 | 19.5 | 30 |
| 2006 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5 | 9 | 12.5 | 13.5 | 17.5 | 29 |
| 2007 | 1 | 2 | 3 | 3.5 | 4.5 | 6.5 | 7.5 | 9 | 12 | 12.5 | 18 | 26 |
| 2008 | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 | 5.5 | 6.5 | 10 | 13.5 | 22 | 31.5 |
| 2009 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 4.5 | 5.5 | 10 | 17.5 | 20 | 27 | 27.5 |
| 2010 | 1 | 2 | 3 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6 | 8.5 | 10 | 13.5 | 18 | 33 |
| 2011 | 2 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5.5 | 7.5 | 9 | 12.5 | 15.5 | 20 | 24.5 | 35 |
| 2012 | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4 | 6 | 8.5 | 10.5 | 16 | 23 | 25.5 | 26.5 | 30.5 |
| 2013 | 2.5 | 4.5 | 6.5 | 8 | 10.5 | 12.5 | 12.5 | 20.5 | 28 | 28.5 | 28.5 | 29.5 |



| Yanuncay en Pucán | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Año | Duración (min) | | | | | | | | | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 | 120 | 240 | 360 | 720 | 1440 |
| 1997 | 3.5 | 6.0 | 8.0 | 9.5 | 13.0 | 15.5 | 18.5 | 23.5 | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 33.0 |
| 1998 | 2.5 | 4.0 | 4.5 | 4.5 | 5.5 | 6.0 | 7.0 | 8.5 | 11.5 | 15.0 | 24.0 | 32.0 |
| 1999 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 6.0 | 7.0 | 13.5 | 22.0 | 28.0 | 39.5 | 43.5 |
| 2000 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.5 | 7.5 | 13.5 | 20.0 | 23.0 | 27.0 | 36.0 |
| 2001 | 2 | 4 | 5.5 | 7.5 | 9 | 10.5 | 11.5 | 12.5 | 18.5 | 19.5 | 19.5 | 29.5 |
| 2002 | 5 | 8.5 | 11.5 | 12.5 | 13.5 | 17 | 20 | 21 | 21 | 22 | 27.5 | 29.5 |
| 2003 | 3 | 5.5 | 7 | 8 | 8.5 | 9 | 9.5 | 10 | 13.5 | 15 | 16.5 | 27.5 |
| 2004 | 3.5 | 6.5 | 8 | 9.5 | 10 | 10.5 | 11 | 11.5 | 12 | 12 | 12 | 15.5 |
| 2005 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 5 | 6 | 8 | 11 | 12.5 | 20 | 27.5 |
| 2006 | 1.5 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4.5 | 6 | 8.5 | 13.5 | 21 | 22.5 | 23.5 | 31.5 |
| 2007 | 1.5 | 3 | 4 | 5 | 6.5 | 8 | 8.5 | 10 | 15 | 19 | 24 | 30 |
| 2008 | 4 | 6.5 | 7.5 | 8 | 8 | 9 | 9.5 | 10 | 10 | 12 | 22.5 | 27.5 |
| 2009 | 6 | 11 | 15 | 18 | 26.5 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27.5 | 27.5 | 28.5 |
| 2010 | 2.5 | 5 | 6 | 6.5 | 9 | 10 | 10.5 | 16 | 16.5 | 23 | 26 | 32 |
| 2011 | 3 | 4.5 | 5.5 | 6 | 7 | 7.5 | 9 | 15 | 18.5 | 24.5 | 33.5 | 47 |
| 2012 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5 | 6 | 8.5 | 10.5 | 13.5 | 21.5 | 21.5 | 21.5 | 32 |
| 2013 | 3 | 4 | 5 | 5.5 | 6.5 | 8 | 9 | 12 | 17 | 17 | 18.5 | 26.5 |



8.3 Anexo 3. Resultados del Test de Bondad de Ajuste Kolmogorov Smirnov.

| Código Estación | Ch | Hu | La | Po | Tc | Ma | Ms | Yc | Yp |
|--------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Dt | 0.454 | 0.338 | 0.43 | 0.318 | 0.318 | 0.375 | 0.318 | 0.318 | 0.318 |
| D (5min) | 0.279 | 0.223 | 0.173 | 0.125 | 0.096 | 0.143 | 0.127 | 0.129 | 0.135 |
| D (10min) | 0.179 | 0.186 | 0.173 | 0.176 | 0.130 | 0.110 | 0.155 | 0.127 | 0.064 |
| D (15min) | 0.203 | 0.193 | 0.117 | 0.139 | 0.151 | 0.106 | 0.206 | 0.165 | 0.064 |
| D (20min) | 0.237 | 0.185 | 0.171 | 0.120 | 0.110 | 0.130 | 0.219 | 0.183 | 0.073 |
| D (30min) | 0.161 | 0.204 | 0.130 | 0.118 | 0.123 | 0.107 | 0.108 | 0.151 | 0.117 |
| D (45min) | 0.149 | 0.161 | 0.173 | 0.097 | 0.111 | 0.159 | 0.118 | 0.124 | 0.167 |
| D (60min) | 0.140 | 0.183 | 0.117 | 0.110 | 0.123 | 0.176 | 0.101 | 0.080 | 0.186 |
| D (120min) | 0.186 | 0.155 | 0.118 | 0.080 | 0.098 | 0.158 | 0.095 | 0.112 | 0.141 |
| D (240min) | 0.146 | 0.084 | 0.156 | 0.098 | 0.094 | 0.215 | 0.094 | 0.154 | 0.133 |
| D (360min) | 0.142 | 0.100 | 0.131 | 0.822 | 0.169 | 0.213 | 0.069 | 0.166 | 0.181 |
| D (720min) | 0.268 | 0.144 | 0.099 | 0.107 | 0.088 | 0.134 | 0.104 | 0.130 | 0.093 |
| D (1440min) | 0.194 | 0.084 | 0.250 | 0.104 | 0.111 | 0.098 | 0.102 | 0.079 | 0.165 |



8.4 Anexo 4. Hietogramas de diseño por subcuenca, para diferentes periodos de retorno.

8.4.1 Subcuenca del río Machángara.

| Tiempo (min) | Hietograma Tr=5años | | |
|-----------------|---------------------|------------|---------|
| | Precipitación (mm) | | |
| | Chanlud | Huagrahuma | Labrado |
| 15 | 0.30 | 0.20 | 0.24 |
| 30 | 0.77 | 0.47 | 0.30 |
| 45 | 1.05 | 0.71 | 0.61 |
| 60 | 1.10 | 0.88 | 1.03 |
| 75 | 1.15 | 1.21 | 1.08 |
| 90 | 1.51 | 1.62 | 1.20 |
| 105 | 1.75 | 1.72 | 2.46 |
| 120 | 4.25 | 3.24 | 6.28 |
| 135 | 2.58 | 1.99 | 3.55 |
| 150 | 1.69 | 1.62 | 1.55 |
| 165 | 1.33 | 1.29 | 1.16 |
| 180 | 1.14 | 0.98 | 1.03 |
| 195 | 1.07 | 0.83 | 0.75 |
| 210 | 0.93 | 0.54 | 0.60 |
| 225 | 0.63 | 0.44 | 0.29 |
| 240 | 0.16 | 0.09 | 0.22 |

| Tiempo (min) | Hietograma Tr=10años | | |
|-----------------|----------------------|------------|---------|
| | Precipitación (mm) | | |
| | Chanlud | Huagrahuma | Labrado |
| 15 | 0.40 | 0.16 | 0.30 |
| 30 | 1.03 | 0.36 | 0.45 |
| 45 | 1.13 | 0.76 | 0.82 |
| 60 | 1.18 | 1.13 | 1.03 |
| 75 | 1.41 | 1.30 | 1.17 |
| 90 | 1.70 | 1.83 | 1.19 |
| 105 | 1.93 | 2.16 | 3.02 |
| 120 | 5.02 | 4.06 | 7.10 |
| 135 | 3.06 | 2.39 | 4.18 |
| 150 | 1.74 | 1.93 | 1.69 |
| 165 | 1.48 | 1.73 | 1.18 |
| 180 | 1.21 | 1.24 | 1.15 |
| 195 | 1.15 | 0.85 | 0.96 |
| 210 | 1.03 | 0.56 | 0.53 |
| 225 | 0.78 | 0.34 | 0.38 |
| 240 | 0.36 | 0.15 | 0.21 |



| Hietograma Tr=25años | | | | Hietograma Tr=50años | | | |
|----------------------|--------------------|------------|---------|----------------------|--------------------|------------|---------|
| Tiempo (min) | Precipitación (mm) | | | Tiempo (min) | Precipitación (mm) | | |
| | Chanlud | Huagrahuma | Labrado | | Chanlud | Huagrahuma | Labrado |
| 15 | 0.67 | 0.14 | 0.21 | 15 | 0.54 | 0.03 | 0.30 |
| 30 | 0.82 | 0.39 | 0.50 | 30 | 0.97 | 0.12 | 0.42 |
| 45 | 1.29 | 0.65 | 0.71 | 45 | 1.35 | 0.93 | 0.89 |
| 60 | 1.33 | 1.24 | 1.15 | 60 | 1.42 | 1.46 | 1.14 |
| 75 | 1.84 | 1.75 | 1.29 | 75 | 1.97 | 1.90 | 1.40 |
| 90 | 1.94 | 2.28 | 1.84 | 90 | 2.11 | 2.61 | 1.70 |
| 105 | 2.30 | 2.72 | 3.72 | 105 | 2.68 | 3.13 | 4.24 |
| 120 | 5.99 | 5.09 | 8.13 | 120 | 6.70 | 5.86 | 8.89 |
| 135 | 3.66 | 2.90 | 4.97 | 135 | 4.11 | 3.28 | 5.56 |
| 150 | 1.96 | 2.32 | 1.89 | 150 | 2.55 | 2.62 | 2.16 |
| 165 | 1.86 | 2.01 | 1.43 | 165 | 2.02 | 2.30 | 1.45 |
| 180 | 1.74 | 1.51 | 1.19 | 180 | 1.73 | 1.81 | 1.30 |
| 195 | 1.32 | 1.18 | 0.98 | 195 | 1.35 | 1.03 | 0.97 |
| 210 | 1.04 | 0.50 | 0.65 | 210 | 1.20 | 0.67 | 0.88 |
| 225 | 0.71 | 0.18 | 0.40 | 225 | 0.72 | 0.10 | 0.35 |
| 240 | 0.10 | 0.07 | 0.05 | 240 | 0.11 | 0.03 | 0.28 |

| Hietograma Tr=100años | | | |
|-----------------------|--------------------|------------|---------|
| Tiempo (min) | Precipitación (mm) | | |
| | Chanlud | Huagrahuma | Labrado |
| 15 | 0.48 | 0.02 | 0.18 |
| 30 | 1.09 | 0.11 | 0.57 |
| 45 | 1.48 | 0.85 | 1.13 |
| 60 | 1.73 | 1.60 | 1.25 |
| 75 | 2.01 | 2.21 | 1.51 |
| 90 | 2.40 | 2.90 | 1.80 |
| 105 | 2.66 | 3.53 | 4.76 |
| 120 | 7.41 | 6.62 | 9.65 |
| 135 | 4.55 | 3.66 | 6.14 |
| 150 | 2.61 | 2.97 | 2.06 |
| 165 | 2.19 | 2.51 | 1.60 |
| 180 | 1.73 | 2.00 | 1.40 |
| 195 | 1.52 | 1.11 | 1.22 |
| 210 | 1.41 | 0.62 | 0.79 |
| 225 | 1.00 | 0.03 | 0.53 |
| 240 | 0.20 | 0.02 | 0.12 |



8.4.2 Subcuenca del río Tarqui.

| Hietograma Tr=5años | | | Hietograma Tr=10años | | | Hietograma Tr=25años | | |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Tiempo (min) | Precipitación (mm) | | Tiempo (min) | Precipitación (mm) | | Tiempo (min) | Precipitación (mm) | |
| | Portete | Tarqui en Cumbe | | Portete | Tarqui en Cumbe | | Portete | Tarqui en Cumbe |
| 15 | 0.18 | 0.04 | 15 | 0.12 | 0.00 | 15 | 0.11 | 0.00 |
| 30 | 0.18 | 0.11 | 30 | 0.25 | 0.01 | 30 | 0.17 | 0.00 |
| 45 | 0.45 | 0.13 | 45 | 0.42 | 0.03 | 45 | 0.21 | 0.03 |
| 60 | 0.73 | 0.15 | 60 | 0.75 | 0.07 | 60 | 0.69 | 0.13 |
| 75 | 1.14 | 0.18 | 75 | 1.15 | 0.14 | 75 | 0.99 | 0.15 |
| 90 | 1.16 | 0.27 | 90 | 1.25 | 0.16 | 90 | 1.35 | 0.23 |
| 105 | 1.20 | 0.39 | 105 | 1.29 | 0.20 | 105 | 1.45 | 0.35 |
| 120 | 1.24 | 0.52 | 120 | 1.48 | 0.38 | 120 | 1.66 | 0.52 |
| 135 | 1.56 | 1.59 | 135 | 1.70 | 1.72 | 135 | 2.24 | 1.88 |
| 150 | 2.12 | 3.37 | 150 | 2.40 | 4.20 | 150 | 2.75 | 5.24 |
| 165 | 13.60 | 12.22 | 165 | 17.22 | 14.93 | 165 | 21.79 | 18.36 |
| 180 | 4.32 | 6.48 | 180 | 5.19 | 8.27 | 180 | 6.30 | 10.54 |
| 195 | 2.09 | 1.60 | 195 | 2.38 | 2.00 | 195 | 2.66 | 2.10 |
| 210 | 1.25 | 0.55 | 210 | 1.56 | 0.44 | 210 | 1.99 | 0.73 |
| 225 | 1.21 | 0.47 | 225 | 1.40 | 0.23 | 225 | 1.56 | 0.38 |
| 240 | 1.18 | 0.28 | 240 | 1.26 | 0.20 | 240 | 1.36 | 0.25 |
| 255 | 1.15 | 0.25 | 255 | 1.19 | 0.15 | 255 | 1.23 | 0.21 |
| 270 | 0.80 | 0.17 | 270 | 1.05 | 0.08 | 270 | 0.82 | 0.13 |
| 285 | 0.72 | 0.15 | 285 | 0.44 | 0.03 | 285 | 0.38 | 0.11 |
| 300 | 0.27 | 0.11 | 300 | 0.40 | 0.02 | 300 | 0.19 | 0.03 |
| 315 | 0.18 | 0.09 | 315 | 0.24 | 0.01 | 315 | 0.14 | 0.00 |
| 330 | 0.14 | 0.04 | 330 | 0.05 | 0.00 | 330 | 0.01 | 0.00 |



| Hietograma Tr=50años | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Tiempo (min) | Precipitación (mm) | |
| | Portete | Tarqui en Cumbe |
| 15 | 0.14 | 0.00 |
| 30 | 0.28 | 0.00 |
| 45 | 0.60 | 0.00 |
| 60 | 0.73 | 0.05 |
| 75 | 0.79 | 0.10 |
| 90 | 1.47 | 0.15 |
| 105 | 1.75 | 0.55 |
| 120 | 2.00 | 1.55 |
| 135 | 2.50 | 2.00 |
| 150 | 3.11 | 6.02 |
| 165 | 25.18 | 20.91 |
| 180 | 7.13 | 12.23 |
| 195 | 3.02 | 2.41 |
| 210 | 2.21 | 1.73 |
| 225 | 1.81 | 1.50 |
| 240 | 1.56 | 0.18 |
| 255 | 1.47 | 0.15 |
| 270 | 0.74 | 0.09 |
| 285 | 0.73 | 0.03 |
| 300 | 0.31 | 0.00 |
| 315 | 0.18 | 0.00 |
| 330 | 0.06 | 0.00 |

| Hietograma Tr=100años | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Tiempo (min) | Precipitación (mm) | |
| | Portete | Tarqui en Cumbe |
| 15 | 0.05 | 0.00 |
| 30 | 0.11 | 0.00 |
| 45 | 0.25 | 0.00 |
| 60 | 1.33 | 0.00 |
| 75 | 1.40 | 0.04 |
| 90 | 1.50 | 0.41 |
| 105 | 1.73 | 0.60 |
| 120 | 1.95 | 1.12 |
| 135 | 2.48 | 2.11 |
| 150 | 3.65 | 6.79 |
| 165 | 28.55 | 23.43 |
| 180 | 7.95 | 13.90 |
| 195 | 3.29 | 2.52 |
| 210 | 2.29 | 1.55 |
| 225 | 1.88 | 0.73 |
| 240 | 1.56 | 0.48 |
| 255 | 1.42 | 0.32 |
| 270 | 1.35 | 0.03 |
| 285 | 0.78 | 0.00 |
| 300 | 0.19 | 0.00 |
| 315 | 0.08 | 0.00 |
| 330 | 0.04 | 0.00 |



8.4.3 Subcuenca del río Tomebamba

| Hietograma Tr=5años | | | Hietograma Tr=10años | | | Hietograma Tr=25años | | |
|---------------------|--------------------|------------------------|----------------------|--------------------|------------------------|----------------------|--------------------|------------------------|
| Tiempo (min) | Precipitación (mm) | | Tiempo (min) | Precipitación (mm) | | Tiempo (min) | Precipitación (mm) | |
| | Marianza | Matadero en Sayausí | | Marianza | Matadero en Sayausí | | Marianza | Matadero en Sayausí |
| 15 | 0.50 | 0.48 | 15 | 0.81 | 0.55 | 15 | 0.95 | 0.17 |
| 30 | 0.86 | 0.88 | 30 | 0.94 | 0.87 | 30 | 1.23 | 1.05 |
| 45 | 0.96 | 1.05 | 45 | 1.02 | 0.95 | 45 | 1.34 | 1.33 |
| 60 | 1.07 | 1.20 | 60 | 1.44 | 1.35 | 60 | 1.59 | 1.44 |
| 75 | 1.90 | 2.71 | 75 | 2.16 | 3.40 | 75 | 2.64 | 3.69 |
| 90 | 2.30 | 3.25 | 90 | 2.79 | 3.55 | 90 | 3.40 | 4.16 |
| 105 | 7.89 | 18.11 | 105 | 9.79 | 23.37 | 105 | 12.20 | 30.02 |
| 120 | 2.73 | 8.11 | 120 | 3.20 | 9.81 | 120 | 3.80 | 11.95 |
| 135 | 1.93 | 3.07 | 135 | 2.49 | 3.49 | 135 | 3.21 | 3.81 |
| 150 | 1.10 | 1.35 | 150 | 1.46 | 1.43 | 150 | 1.68 | 1.88 |
| 165 | 1.05 | 1.08 | 165 | 1.29 | 1.30 | 165 | 1.43 | 1.33 |
| 180 | 0.95 | 1.00 | 180 | 0.97 | 0.93 | 180 | 1.33 | 1.23 |
| 195 | 0.81 | 0.50 | 195 | 0.88 | 0.84 | 195 | 0.97 | 0.68 |
| 210 | 0.45 | 0.27 | 210 | 0.50 | 0.49 | 210 | 0.65 | 0.10 |

| Hietograma Tr=50años | | | Hietograma Tr=100años | | |
|----------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|
| Tiempo (min) | Precipitación (mm) | | Tiempo (min) | Precipitación (mm) | |
| | Marianza | Matadero en Sayausí | | Marianza | Matadero en Sayausí |
| 15 | 1.03 | 0.19 | 15 | 1.02 | 0.53 |
| 30 | 1.37 | 1.11 | 30 | 1.51 | 0.83 |
| 45 | 1.55 | 1.30 | 45 | 1.71 | 1.53 |
| 60 | 1.60 | 1.50 | 60 | 1.76 | 1.92 |
| 75 | 2.92 | 4.04 | 75 | 3.30 | 4.27 |
| 90 | 3.86 | 4.62 | 90 | 4.31 | 5.07 |
| 105 | 13.99 | 34.95 | 105 | 15.76 | 39.84 |
| 120 | 4.24 | 13.54 | 120 | 4.67 | 15.12 |
| 135 | 3.74 | 4.36 | 135 | 4.27 | 4.46 |
| 150 | 1.85 | 1.76 | 150 | 2.04 | 2.05 |
| 165 | 1.58 | 1.40 | 165 | 1.73 | 1.63 |
| 180 | 1.55 | 1.20 | 180 | 1.70 | 1.12 |
| 195 | 1.35 | 0.73 | 195 | 1.49 | 0.62 |
| 210 | 0.68 | 0.01 | 210 | 0.93 | 0.13 |



8.4.4 Subcuenca del río Yanuncay

| Hietograma Tr=5años | | | Hietograma Tr=10años | | | Hietograma Tr=25años | | |
|---------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|
| Tiempo (min) | Precipitación (mm) | | Tiempo (min) | Precipitación (mm) | | Tiempo (min) | Precipitación (mm) | |
| | Yanuncay en Cancán | Yanuncay en Pucán | | Yanuncay en Cancán | Yanuncay en Pucán | | Yanuncay en Cancán | Yanuncay en Pucán |
| 15 | 0.05 | 0.07 | 15 | 0.10 | 0.10 | 15 | 0.07 | 0.03 |
| 30 | 0.15 | 0.14 | 30 | 0.16 | 0.16 | 30 | 0.16 | 0.10 |
| 45 | 0.22 | 0.27 | 45 | 0.22 | 0.20 | 45 | 0.25 | 0.18 |
| 60 | 0.32 | 0.35 | 60 | 0.24 | 0.25 | 60 | 0.35 | 0.29 |
| 75 | 0.47 | 0.36 | 75 | 0.59 | 0.38 | 75 | 0.57 | 0.32 |
| 90 | 0.69 | 0.39 | 90 | 0.78 | 0.40 | 90 | 0.98 | 0.35 |
| 105 | 0.79 | 0.53 | 105 | 1.01 | 0.69 | 105 | 0.98 | 0.51 |
| 120 | 0.87 | 1.01 | 120 | 1.13 | 0.99 | 120 | 1.20 | 1.01 |
| 135 | 1.07 | 1.26 | 135 | 1.59 | 1.32 | 135 | 1.28 | 1.32 |
| 150 | 1.54 | 1.42 | 150 | 3.24 | 1.47 | 150 | 1.90 | 1.43 |
| 165 | 7.61 | 8.43 | 165 | 9.76 | 10.40 | 165 | 12.47 | 12.89 |
| 180 | 2.74 | 4.04 | 180 | 6.19 | 5.27 | 180 | 3.88 | 6.82 |
| 195 | 1.47 | 1.29 | 195 | 1.69 | 1.42 | 195 | 1.74 | 1.35 |
| 210 | 1.01 | 1.03 | 210 | 1.54 | 1.14 | 210 | 1.26 | 1.28 |
| 225 | 0.86 | 0.60 | 225 | 1.10 | 0.96 | 225 | 1.16 | 0.84 |
| 240 | 0.77 | 0.51 | 240 | 0.85 | 0.56 | 240 | 0.98 | 0.47 |
| 255 | 0.65 | 0.38 | 255 | 0.77 | 0.40 | 255 | 0.79 | 0.34 |
| 270 | 0.39 | 0.36 | 270 | 0.58 | 0.26 | 270 | 0.37 | 0.29 |
| 285 | 0.24 | 0.29 | 285 | 0.23 | 0.20 | 285 | 0.29 | 0.19 |
| 300 | 0.17 | 0.18 | 300 | 0.21 | 0.19 | 300 | 0.23 | 0.16 |
| 315 | 0.15 | 0.13 | 315 | 0.15 | 0.14 | 315 | 0.10 | 0.06 |
| 330 | 0.02 | 0.07 | 330 | 0.06 | 0.06 | 330 | 0.07 | 0.03 |



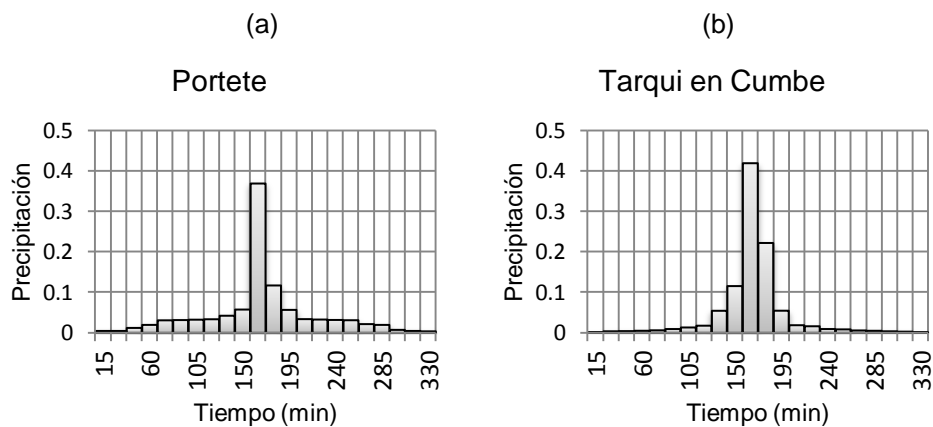
| Hietograma Tr=50años | | |
|----------------------|--------------------------|----------------------|
| Tiempo (min) | Precipitación (mm) | |
| | Yanuncay en Cancán | Yanuncay en Pucán |
| 15 | 0.13 | 0.02 |
| 30 | 0.20 | 0.10 |
| 45 | 0.23 | 0.16 |
| 60 | 0.28 | 0.24 |
| 75 | 0.50 | 0.28 |
| 90 | 0.80 | 0.46 |
| 105 | 0.96 | 0.54 |
| 120 | 1.28 | 0.98 |
| 135 | 1.51 | 1.36 |
| 150 | 1.91 | 1.43 |
| 165 | 14.48 | 14.74 |
| 180 | 4.35 | 7.97 |
| 195 | 1.86 | 1.37 |
| 210 | 1.48 | 0.98 |
| 225 | 1.03 | 0.88 |
| 240 | 0.90 | 0.50 |
| 255 | 0.80 | 0.34 |
| 270 | 0.40 | 0.27 |
| 285 | 0.25 | 0.23 |
| 300 | 0.23 | 0.10 |
| 315 | 0.17 | 0.05 |
| 330 | 0.10 | 0.02 |

| Hietograma Tr=100años | | |
|-----------------------|--------------------------|----------------------|
| Tiempo (min) | Precipitación (mm) | |
| | Yanuncay en Cancán | Yanuncay en Pucán |
| 15 | 0.10 | 0.07 |
| 30 | 0.17 | 0.13 |
| 45 | 0.26 | 0.15 |
| 60 | 0.32 | 0.20 |
| 75 | 0.77 | 0.34 |
| 90 | 0.93 | 0.41 |
| 105 | 1.15 | 0.55 |
| 120 | 1.36 | 0.97 |
| 135 | 1.70 | 1.39 |
| 150 | 1.97 | 1.54 |
| 165 | 16.48 | 16.58 |
| 180 | 4.82 | 9.12 |
| 195 | 1.88 | 1.43 |
| 210 | 1.37 | 1.21 |
| 225 | 1.23 | 0.75 |
| 240 | 1.00 | 0.45 |
| 255 | 0.78 | 0.34 |
| 270 | 0.39 | 0.25 |
| 285 | 0.29 | 0.17 |
| 300 | 0.21 | 0.13 |
| 315 | 0.13 | 0.10 |
| 330 | 0.10 | 0.01 |

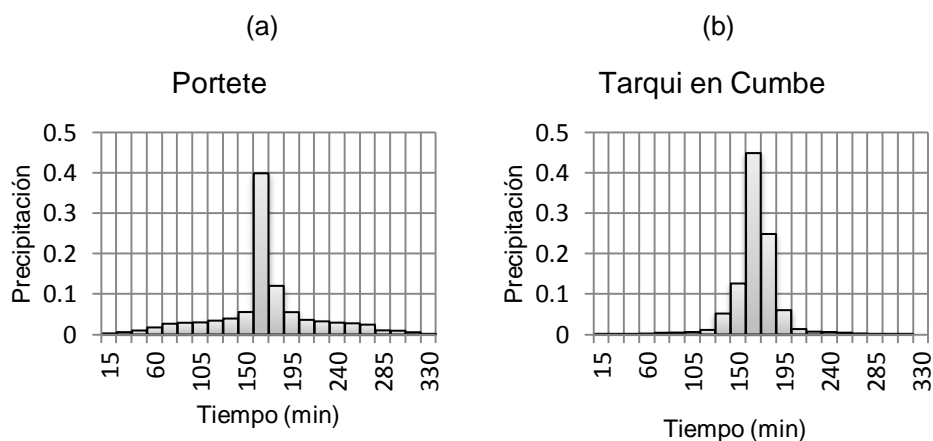
8.5 Anexo 5. Histogramas Unitarios

8.5.1 Subcuenca del río Tarqui

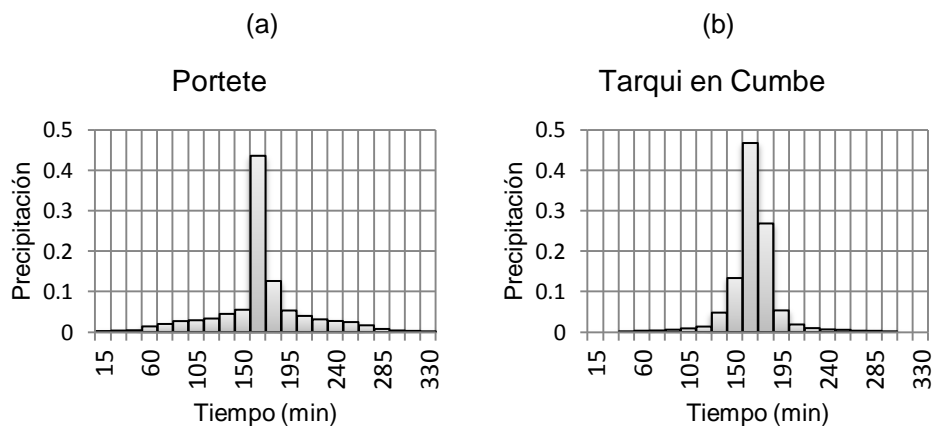
Histogramas Unitarios para $T_r=5$ años



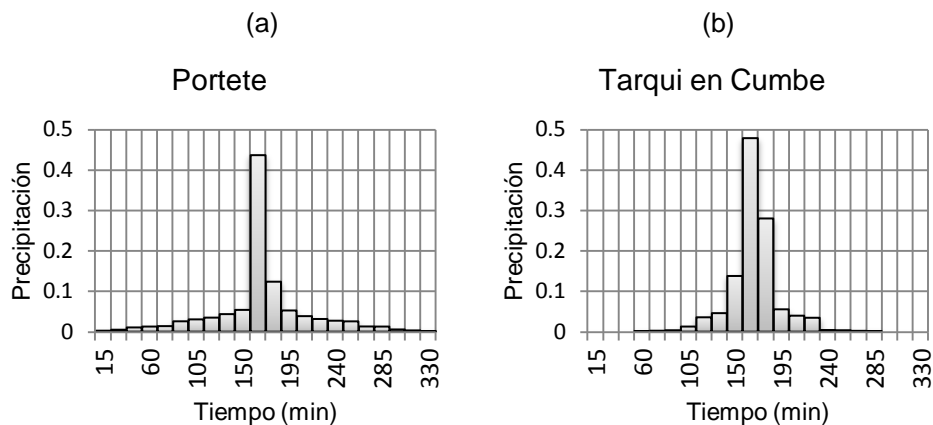
Histogramas Unitarios para $T_r=10$ años



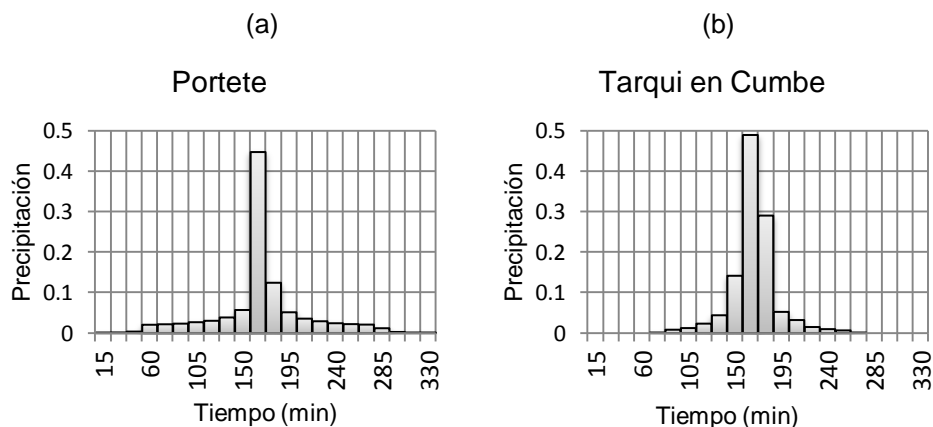
Histogramas Unitarios para $T_r=25$ años



Histogramas Unitarios para $T_r=50$ años

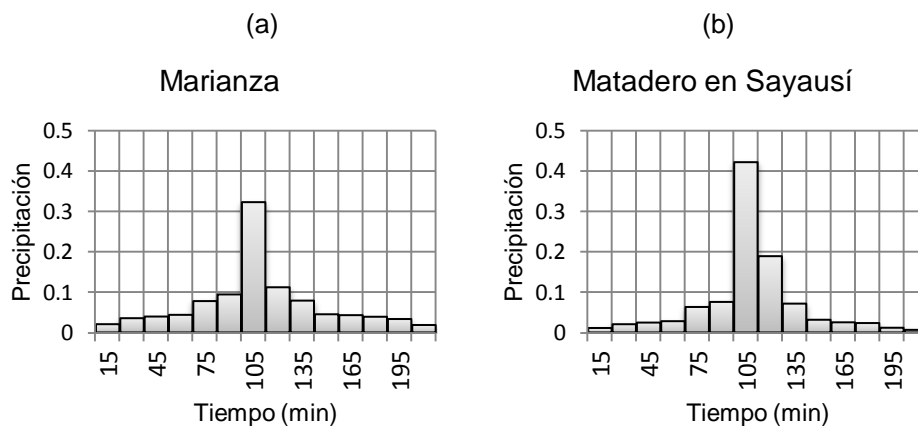


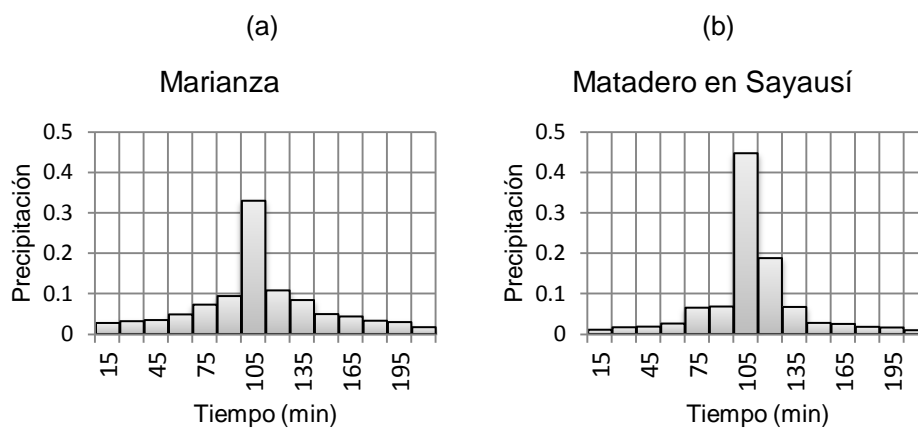
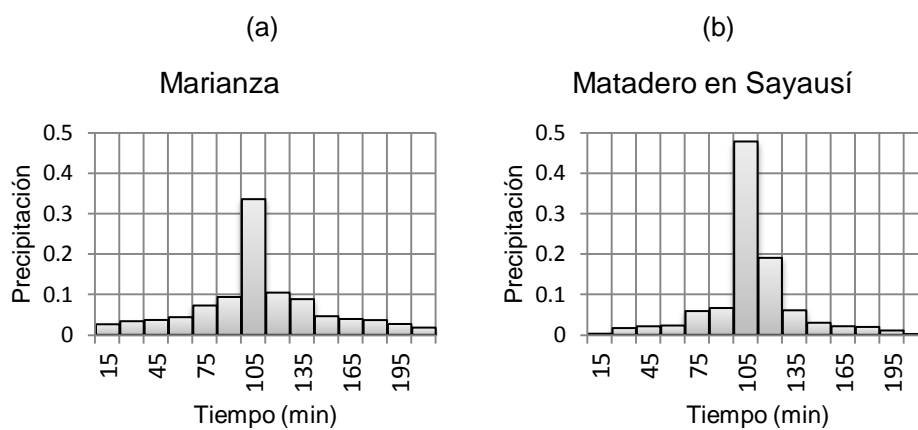
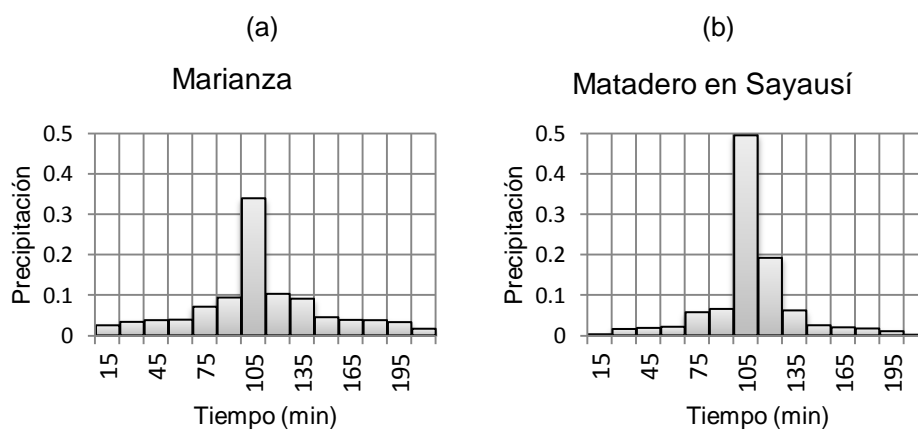
Histogramas Unitarios para $T_r=100$ años



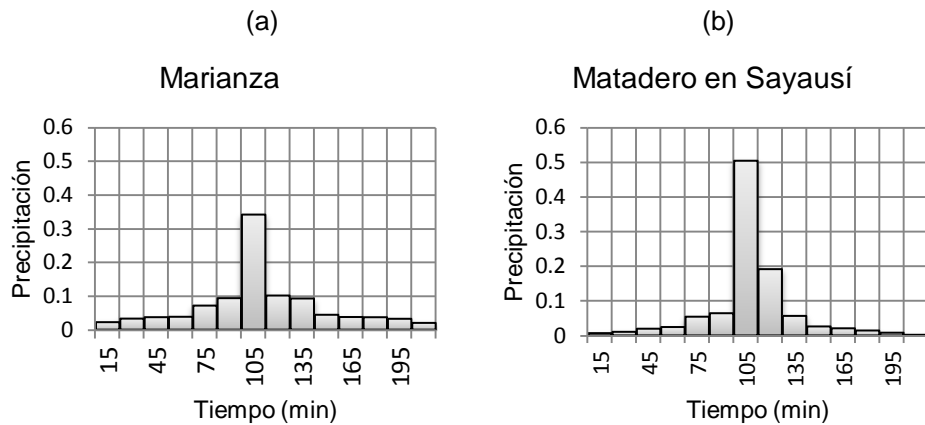
8.5.2 Subcuenca del río Tomebamba

Histogramas Unitarios para $T_r=5$ años



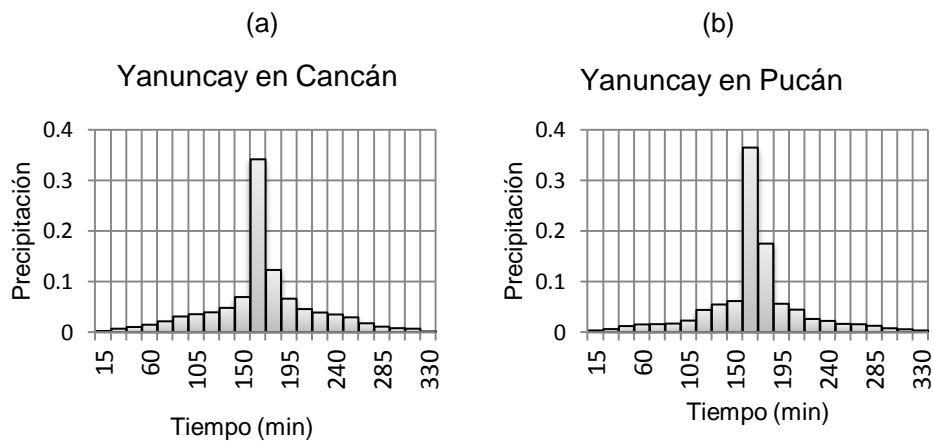
Histogramas Unitarios para $T_r=10$ añosHistogramas Unitarios para $T_r=25$ añosHistogramas Unitarios para $T_r=50$ años

Histogramas Unitarios para $Tr=100$ años

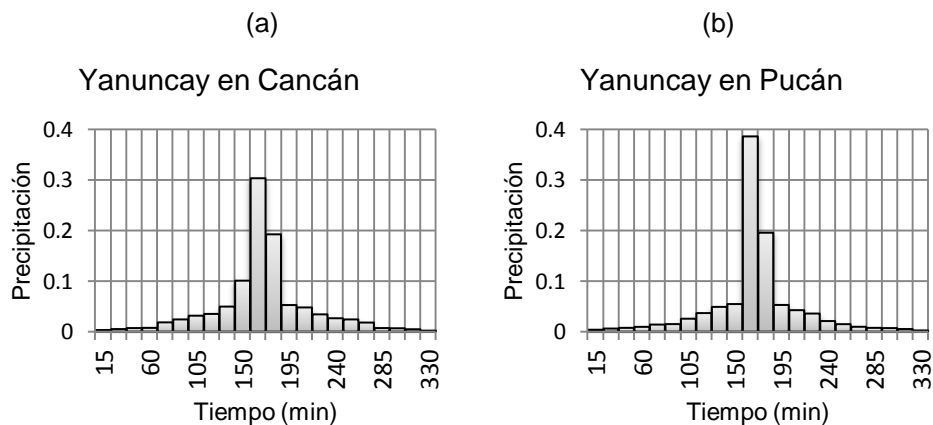


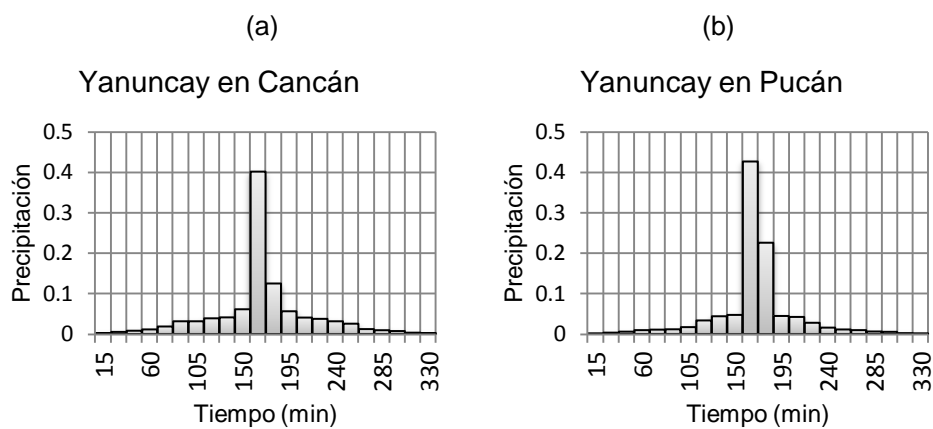
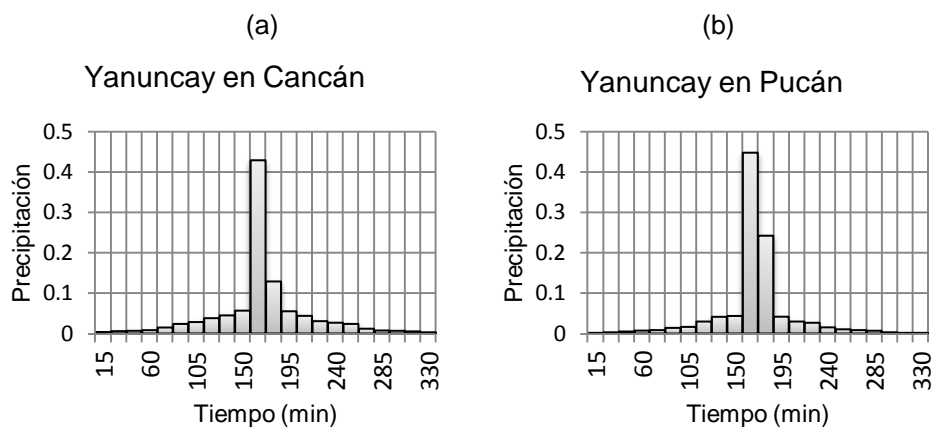
8.5.3 Subcuenca del río Yanuncay

Histogramas Unitarios para $Tr=5$ años



Histogramas Unitarios para $Tr=10$ años



Histogramas Unitarios para $Tr=25$ añosHistogramas Unitarios para $Tr=50$ añosHistogramas Unitarios para $Tr=100$ años